

Magdalena Kryger, Wojciech Kosiak

## Rola przekłatkowej ultrasonografii płuc u dzieci

### Role of lung ultrasound in paediatric patients

Pracownia Diagnostyki Ultrasonograficznej i Biopsyjnej przy Klinice Pediatrii, Hematologii i Onkologii, Gdański Uniwersytet Medyczny, Gdańsk, Polska.

Kierownik Katedry i Kliniki Pediatrii, Hematologii i Onkologii: dr hab. n. med. Elżbieta Adamkiewicz-Drożyńska, prof. nadzw.

Adres do korespondencji: Magdalena Kryger, Pracownia Diagnostyki Ultrasonograficznej i Biopsyjnej przy Klinice Pediatrii, Hematologii i Onkologii, Gdański Uniwersytet Medyczny, ul. Dębinki 7, 80-211 Gdańsk, tel.: +48 58 349 29 22, e-mail: magdalena.kryger@gmail.com

Ultrasound and Biopsy Laboratory at the Department of Paediatrics, Haematology and Oncology, Medical University of Gdańsk, Gdańsk, Poland.

Head of the Department: Professor Elżbieta Adamkiewicz-Drożyńska, MD, PhD

Correspondence: Magdalena Kryger, Ultrasound and Biopsy Laboratory at the Department of Paediatrics, Haematology and Oncology, Medical University of Gdańsk, Dębinki 7, 80-211 Gdańsk, tel.: +48 58 349 29 22, e-mail: magdalena.kryger@gmail.com

#### Streszczenie

Przekłatkowe ultrasonograficzne badanie płuc to ultrasonograficzna ocena płuc, opłucnej ściennej, opłucnej płucnej i przestrzeni między tymi błonami. Jest częścią ultrasonograficznego badania klatki piersiowej, w którym dodatkowo ocenia się struktury powierzchniowe ograniczające jamę klatki piersiowej, przeponę, śródpiersie i serce. Przekłatkowa ultrasonografia płuc jako metoda diagnostyczna chorób płuc stosowana jest od ponad 30 lat, jednakże jej zalety i ograniczenia nie są powszechnie znane i nie uzyskały jeszcze pełnej akceptacji klinicystów. Od pierwszej dekady XXI wieku badanie to staje się coraz powszechniej wykorzystywaną metodą diagnostyki obrazowej w pediatrii. Do tej pory nie udokumentowano działań niepożądanych, co więcej – jest to metoda pozbawiona szkodliwego promieniowania jonizującego. Przekłatkowe ultrasonograficzne badanie płuc można wykonać praktycznie w każdych warunkach i wielokrotnie powtarzać. Z uwagi na jego dostępność, wiarygodność i dokładność w porównaniu z metodami uznanymi za referencyjne, a także niski koszt wydaje się najlepszym badaniem służącym do oceny płuc. Może być ono wykorzystywane zarówno w procesie wstępnej diagnostyki, jak i w monitorowaniu przebiegu leczenia (możliwość wykonania badań przyłóżkowo). W artykule oprócz zagadnień dotyczących techniki badania ultrasonograficznego, wymagań sprzętowych, prawidłowego ultrasonograficznego obrazu płuc i ograniczeń badania omówiono jego rolę w diagnostyce chorób płuc u dzieci, takich jak: zapalenie płuc, płyn w jamie opłucnej, niedodma, odma opłucnowa, zapalenie oskrzelików, obrzęk płuc i zatorowość płucna.

**Słowa kluczowe:** ultrasonografia, przekłatkowe ultrasonograficzne badanie płuc, choroby płuc, dzieci, pediatria

#### Abstract

Transthoracic lung ultrasound is ultrasonographic assessment of the lungs, parietal and visceral pleura and the space between these two membranes. It is a part of chest ultrasound examination which also includes assessment of the ribs, intercostal spaces, diaphragm, heart and mediastinum. Lung ultrasound as a diagnostic tool which has been known for 30 years, but its advantages and disadvantages are not commonly known and therefore it is not routinely used by clinicians. In paediatrics, lung ultrasound has become more popular since the first decade of the 21<sup>st</sup> century. The main advantage of this method is no exposure to ionizing radiation. Transthoracic lung ultrasound can be performed in practically any conditions and repeated several times. What is more, its accessibility, reliability, accuracy and low cost compared to other methods, makes lung ultrasound the great tool for lung assessment. It can be used both for initial diagnosis and monitoring of treatment (bedside examinations are possible). In this paper, we describe the technique of lung ultrasound examination, equipment requirements, normal lung ultrasound appearance, disadvantages of the examination and lung ultrasound findings in the most common paediatric lung diseases, such as: pneumonia, pleural fluid, atelectasis, pneumothorax, bronchiolitis, pulmonary oedema and pulmonary embolism.

**Key words:** ultrasonography, transthoracic lung ultrasound, lung diseases, children, paediatrics

## WSTĘP

**D**iaagnostyka obrazowa pacjenta z zaburzeniami ze strony układu oddechowego zazwyczaj rozpoczyna się badaniem rentgenowskim klatki piersiowej, jednak często spotyka się trudności w ocenie charakteru procesu chorobowego. Ponadto redukcja dawki promieniowania jonizującego jest jednym z głównych założeń współczesnej radiologii pediatrycznej<sup>(1)</sup>. W literaturze można znaleźć doniesienia, że ryzyko kancerogenezy jest odwrotnie proporcjonalne do wieku badanego pacjenta<sup>(2,3)</sup>; co więcej, złośliwość nowotworów wyindukowanych promieniowaniem jonizującym jest wyższa<sup>(4)</sup>. Dzieci są bardziej wrażliwe na niskie dawki promieniowania jonizującego, ponieważ posiadają wiele szybko dzielących się komórek, w których naprawa mutacji jest mniej efektywna niż w komórkach nieulegających już podziałom. DNA, które zostało uszkodzone podczas naświetlania, nie może zostać naprawione, gdy komórka się dzieli. Małe dzieci, ze względu na rozmiar oraz masę ciała, potencjalnie otrzymują większe dawki promieniowania jonizującego i więcej tkanek jest u nich naświetlanych podczas jednego badania w porównaniu z dorosłymi<sup>(5)</sup>. Ryzyko kancerogenezy wyindukowanej przez jednostkę promieniowania jonizującego uważa się za 2–3 razy wyższe niż w przeciętnej populacji<sup>(6)</sup>. Należy zwrócić uwagę, że klasyczne badanie radiologiczne (RTG) klatki piersiowej często nie wystarcza, aby ustalić pełne rozpoznanie, w związku z czym wdraża się dalsze postępowanie diagnostyczne, jakim jest badanie za pomocą tomografii komputerowej (TK), czyli pacjenta naraża się na jeszcze wyższą dawkę promieniowania<sup>(7)</sup>.

Ciągle balansowanie między potencjalnymi szkodliwymi efektami a korzyściami wynikającymi z diagnostyki RTG spowodowało, że decyzja o korzystaniu z niej podejmowana jest bardzo ostrożnie<sup>(1)</sup>.

Do niedawna badania ultrasonograficzne (USG) płuc, jako narzędzie diagnostyczne, uważano za nieużyteczne<sup>(8)</sup>. W warunkach prawidłowych uwidocznienie narządów położonych wewnątrz klatki piersiowej nie jest możliwe, ze względu na obecność powietrza w płucach<sup>(9)</sup>. Fakt ten najlepiej tłumaczy pojęcie impedancji akustycznej, czyli siły odbicia fali ultradźwiękowej na granicy dwóch ośrodków. Impedancja akustyczna tkanek miękkich jest zbliżona do siebie, natomiast powietrze ma bardzo niską wartość impedancji akustycznej. Stąd na granicy tkanka miękka/powietrze dochodzi do prawie całkowitego odbicia fali dźwiękowej (jak w lustrze), zatem niemożliwa jest ocena jakiegokolwiek struktury znajdującej się za taką powierzchnią<sup>(10)</sup>. Według powyższej teorii prawidłowo upowietrzone płuca nie są dostępne w USG. Jednak sytuacja zmienia się wraz ze spadkiem upowietrzenia płuc, np. w przypadku ich obrzęku<sup>(11)</sup>, zmian zapalnych czy nowotworowych.

Dodatkowym utrudnieniem jest obecność rusztowania chrzęstno-kostnego klatki piersiowej (żebra, łopatki i kręgosłup), jednakże układ tych struktur pozwala wykorzystać przestrzeń międzyżebrowe jako okna akustyczne, czyli

## INTRODUCTION

**D**iagnostics imaging in a patient with respiratory disorders usually begins with a chest X-ray examination. However, difficulties in the assessment of the disease character are encountered frequently. Moreover, reduction of X-ray exposure is one of the main principles of contemporary paediatric radiology<sup>(1)</sup>. The literature reports indicate that the risk of cancerogenesis is inversely proportional to the patient's age<sup>(2,3)</sup>. Moreover, malignancy of neoplasms induced by ionising radiation is higher<sup>(4)</sup>. Children are more sensitive to low doses of ionising radiation since they have numerous cells that divide rapidly, in which mutation repair is less effective than in cells that do not divide. DNA damaged during radiation cannot be repaired when a cell is dividing. By contrast with adults, young children, due to their size and weight, receive potentially higher doses of ionising radiation, and more tissues are irradiated during one examination<sup>(5)</sup>. The risk of cancerogenesis induced by a unit of ionising radiation is believed to be 2–3 times higher than in the general population<sup>(6)</sup>. Furthermore, a conventional chest X-ray examination is frequently insufficient to establish a diagnosis. That is the reason why other diagnostic procedures, i.e. computed tomography (CT), are performed, which means that patients are exposed to even greater doses of radiation<sup>(7)</sup>.

Due to the potential harmful effects of radiation and, at the same time, advantages of X-ray examination, the decisions concerning employing this method are made with caution<sup>(1)</sup>.

For many years, lung ultrasound was believed useless<sup>(8)</sup>. In normal conditions, thoracic organs cannot be visualised due to the presence of air in the lungs<sup>(9)</sup>. This fact is best explained by the notion of acoustic impedance, i.e. force in which an ultrasound wave is reflected on the border of two centres. Acoustic impedance of soft tissues is similar, but air has a very low value of acoustic impedance. Hence, on the border between the soft tissue and air, an ultrasound beam is nearly entirely reflected (as in the mirror). It is therefore impossible to assess any structures located behind such a surface<sup>(10)</sup>. According to this theory, normally aerated lungs are inaccessible in an ultrasound examination (US). However, the situation changes when lung aeration decreases, e.g. in the case of pulmonary oedema<sup>(11)</sup>, inflammatory changes or neoplastic lesions.

Another obstacle is the osseous-cartilaginous scaffolding of the ribcage (ribs, scapulae and spine). However, its structure enables the usage of intercostal spaces as acoustic windows, i.e. sites at which the transducer is applied<sup>(9)</sup>. The presence of pathological lesions is the acoustic site for their assessment. The usage of pathological lesions as acoustic windows results from their physical properties of ultrasound wave propagation, which are different than in the aerated pulmonary tissue. They enable penetration of ultrasound beams into the deeper structures of the chest and their visualisation on the screen.

miejsca przyłożenia głowicy<sup>(9)</sup>. Z kolei miejscem akustycznym dla oceny zmian patologicznych jest sam fakt ich obecności. Wykorzystanie zmian patologicznych jako okien akustycznych wynika z ich fizycznych właściwości w propagacji fali ultradźwiękowej, innych niż w przypadku upowietrzonej tkanki płuc. Umożliwiają one przechodzenie fal ultradźwiękowych w głębsze struktury klatki piersiowej i obrazowanie ich na ekranie monitora.

Z tych względów możliwa jest wyłącznie ocena zmian będących w bezpośrednim kontakcie z opłucną płucną. Stanowi to kolejne ograniczenie przezklatkowego badania ultrasonograficznego płuc (PBUP). Należy jednak podkreślić, że w około 98,5% przypadków zmiany istotne klinicznie występujące u pacjentów wymagających szybkiej diagnostyki mają bezpośredni kontakt z opłucną płucną, co w pełni uzasadnia obrazowanie płuc ultradźwiękami<sup>(12)</sup>.

W ostatnich latach obserwujemy wzrost wykorzystania ultrasonograficznego badania płuc w diagnostyce obrazowej. Pozwala ono na przyłóżkową ocenę pacjenta bez narażania go na promieniowanie jonizujące, może więc być powtarzane wielokrotnie<sup>(13)</sup>. Ultrasonografia jest niezwykle dokładną, tanią metodą obrazowania, w zasadzie bez przeciwwskazań i poważnych efektów ubocznych<sup>(14)</sup>. Opanowanie techniki badania oraz interpretacji uzyskiwanych obrazów nie wymaga dużo czasu<sup>(13)</sup>. Bardzo istotny jest fakt, że dzieci mają cieńsze powłoki klatki piersiowej oraz mniejszą szerokość i objętość klatki piersiowej, co daje lepszą jakość obrazu. Z jednego przyłożenia głowicy można ocenić zdecydowanie większy obszar niż u dorosłego<sup>(1)</sup>, dzięki czemu całe badanie płuc może zostać wykonane stosunkowo szybko. Ponadto jakość obrazu jest zdecydowanie lepsza, ponieważ możemy korzystać również z głowicy liniowej, charakteryzującej się lepszą rozdzielczością (wyższy zakres częstotliwości). Jednakże zalety oraz ograniczenia PBUP nadal nie są powszechnie znane i nie uzyskały jeszcze pełnej akceptacji klinicystów.

## TECHNIKA BADANIA USG

PBUP można wykonać, mając do dyspozycji dowolnej klasy aparat ultrasonograficzny<sup>(9)</sup>. Minimalne wymagania sprzętowe obejmują jedną głowicę typu convex o częstotliwości 2–5 MHz, używaną do obrazowania dużych zmian sięgających w głąb płuca (doskonała penetracja). W przypadku małych okien akustycznych (bardzo wąskie przestrzenie międzyżebrowe) stosuje się głowice sektorowe lub mikrokonweksowe.

Przy użyciu głowic liniowych o wyższej częstotliwości uzyskuje się znacznie dokładniejsze obrazy struktur położonych powierzchownie: ściany klatki piersiowej czy opłucnej. Ten typ głowicy zalecany jest przede wszystkim w diagnostyce pacjentów pediatrycznych.

Badanie można wykonać u pacjenta w pozycji leżącej, stojącej, siedzącej oraz półleżącej. Miejsca przyłożenia głowicy ultrasonograficznej są dokładnie takie same jak w przypadku stetoskopu. Oceniamy poszczególne segmenty obu

Therefore, only the lesions in the direct contact with the visceral pleura can be assessed. This is another limitation of transthoracic lung ultrasound (TLUS). It must be emphasised that 98.5% of clinically relevant lesions that need rapid diagnosis remain in the direct contact with the visceral pleura, which justifies using ultrasonography in lung assessment<sup>(12)</sup>.

In the recent years, lung ultrasound has been conducted more and more frequently. It enables bedside assessment of patients without exposing them to ionising radiation and it can be repeated many times<sup>(13)</sup>. Ultrasonography is a highly accurate and inexpensive imaging technique. There are practically no contraindications or serious adverse effects<sup>(14)</sup>. Moreover, mastering the technique and image interpretation does not take much time<sup>(13)</sup>. What is important, the thoracic wall is thinner in children, and their chest is narrower and has lower volume, which results in images of better quality. One application of the transducer enables assessment of a larger area than in adults<sup>(1)</sup>, as a result the entire lung ultrasound examination can be conducted relatively quickly. Moreover, the image quality is considerably better since linear probes, which are characterised by higher resolution (greater frequency range), may be used as well. However, advantages and disadvantages of TLUS are not commonly known and therefore not completely recognised by clinicians.

## SCANNING TECHNIQUE

TLUS may be performed with any ultrasound machine<sup>(9)</sup>. The minimal requirements include convex probe (frequency 2–5 MHz) used for imaging deeper structures (ideal penetration). If acoustic windows are small (very narrow intercostal spaces), sector or microconvex probes can be used. When linear probes with higher frequencies are applied, we obtain much more precise images of superficial structures: the thoracic wall or pleura. These probes are particularly recommended in examining paediatric patients.

The examination may be conducted in the decubitus, standing, sitting or semirecumbent positions. The sites of transducer application are identical to those of a stethoscope. The individual segments of both lungs are assessed by moving the transducer along the intercostal spaces both on the anterior and posterior surfaces of the chest, using longitudinal and transverse sections and avoiding artefacts produced by bone structures of the chest<sup>(9)</sup>. For greater accuracy, the examination can be performed with arms raised and bent behind the head. This position enables expanding the intercostal spaces<sup>(7)</sup>. The lung apices are assessed by the supraclavicular approach. During the examination, patients should breathe normally. In special situations (lesions localized behind the ribs), the examination requires intensive inhale and exhale.

There are two options available in ultrasonography: the real time B-mode imaging and M-mode. In the B-mode option, we obtain a two-dimensional real-time image. The M-mode

płuc, przesuwając głowicę wzdłuż międzyżebry, zarówno na przedniej, jak i tylnej powierzchni klatki piersiowej, wykorzystując przekroje podłużne i poprzeczne, unikając jednocześnie nakładania się artefaktów ze struktur kostnych rusztowania klatki piersiowej<sup>(9)</sup>. Dla większej dokładności badanie można wykonać z ramionami uniesionymi i założonymi za głowę, w celu rozszerzenia przestrzeni międzyżebrowych<sup>(7)</sup>. Obrazowanie szczytów płuc wykonuje się z dostępu nadobojczykowego. W trakcie badania pacjent oddycha swobodnie, tylko w szczególnych przypadkach (zmiany w płucu położone za żebrami) badanie przeprowadza się podczas natężonego wdechu i/lub wydechu.

W badaniu USG możemy korzystać z dwóch opcji: obraz w czasie rzeczywistym B-mode i tryb M-mode. W opcji B-mode uzyskujemy obraz dwuwymiarowy w czasie rzeczywistym. Opcja M-mode używana jest do oceny narządów poruszających się. Badanie rozpoczynamy z zastosowaniem trybu B-mode z możliwością obrazowania dopplerem kodowanym kolorem. Jednakże opcja ta nie przez wszystkich autorów jest uważana za niezbędną do wykonania PBUP<sup>(15)</sup>. W przypadku stwierdzenia zmian chorobowych konieczne jest badanie porównawcze w obszarach płuc uznanych za prawidłowe. Jeżeli proces chorobowy dotyczy jednej strony, oceniamy stronę drugą na tej samej wysokości. Echogeniczność zmiany patologicznej porównujemy do echogeniczności wątroby – dla zmian litych echogeniczność zmiany określamy jako izoechogeniczną, jeżeli jest równa echogeniczności wątroby, i hipoechogeniczną lub hiperechogeniczną, jeśli jest odpowiednio niższa bądź wyższa niż echogeniczność wątroby. Badanie w opcjach dopplerowskich wykonywane jest w drugiej kolejności, w celu uwidocznienia unaczynienia<sup>(9)</sup>.

## PRAWIDŁOWY OBRAZ PŁUC

Przykładając głowicę do ściany klatki piersiowej, można uwidocznić kolejno: tkankę podskórną, warstwę mięśni, powięź wewnątrzpiersiową i linię opłucnej (ryc. 1).

Poniżej tkanek miękkich widoczne są żebra, które dają cień akustyczny. Przy podłużnym przyłożeniu głowicy powinniśmy zobrazować dwa sąsiadujące żebra oraz linię opłucnej pomiędzy nimi – obraz taki określany jest mianem „objawu nietoperza” (*bat sign*) (ryc. 2)<sup>(16)</sup>, na który składają się dwa cienie akustyczne żeber na zewnątrz i hiperechogeniczna linia pomiędzy nimi. Linia ta, widoczna około 5 mm poniżej linii żeber (ryc. 1)<sup>(17)</sup>, przemieszczająca się do przodu i ku tyłowi zgodnie z akcją oddechową, nazywana jest linią opłucnej (*pleural line*)<sup>(16)</sup>.

**Objaw ślizgania** powstaje na linii opłucnej, w wyniku przemieszczania się zgodnie z akcją oddechową opłucnej względem nieruchomej opłucnej ściennej, jako konsekwencja zmian w objętości płuca. Objaw ten jest zdecydowanie lepiej widoczny w przypadkowych partiach płuc niż w ich szczytach. W szczególnych przypadkach w razie problemów z uwidocznieniem tego objawu w prezentacji B-mode należy próbować udokumentować jego obecność,

option is used for assessment of moving organs. The examination begins with the B-mode with colour Doppler mode available. However, this option is not considered essential for TLUS by all authors<sup>(15)</sup>.

If pathological changes are observed, it is necessary to conduct a comparative examination of the lung regions that are considered normal. If only one side is involved, the contralateral side is assessed at the same level. The echogenicity of pathological lesions is compared with the echogenicity of the liver. Solid lesions are described as isoechoic if their echogenicity is comparable to that of the liver, and hypoechoic or hyperechoic if it is lower or higher than the echogenicity of the liver. Doppler option is used to assess the vascularisation of the lesions<sup>(9)</sup>.

## NORMAL LUNG APPEARANCE

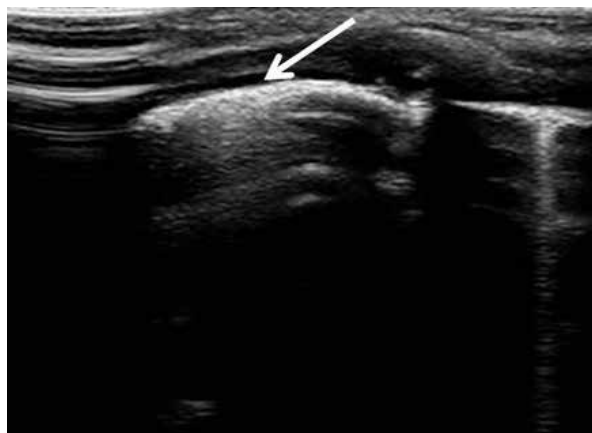
By applying the transducer to the chest wall, one can visualise: the subcutaneous tissue, muscle layer, endothoracic fascia and pleural line (fig. 1).

The ribs are visible below the soft tissues, and they produce acoustic shadow. When the transducer is applied longitudinally, we should see two neighbouring ribs and the pleural line between them. Such an image is described as the “bat sign” (fig. 2)<sup>(16)</sup>. It consists of two outer acoustic shadows of the ribs and a hyperechoic line between them. This line, which is visible approximately 5 mm below the rib line (fig. 1)<sup>(17)</sup> and moves forwards and backwards with respiration, is called the pleural line<sup>(16)</sup>.

The sliding of the visceral pleura over the parietal pleura is called **lung sliding sign**. It is a consequence of changes in lung volume. This sign is considerably better visible in the basal parts of the lungs than in the apices. In special cases, if there are problems with visualising this sign in the B-mode, the M-mode option should be used, in which the normal appearance is described as the “seashore sign” (fig. 3)<sup>(18)</sup>. It is characterised by the absence of movement above the pleural line and homogeneous granular pattern of reflections below this line.

### Artifacts:

- A-line artifacts are horizontal, echogenic parallel lines equidistant from one another, below the pleural line (fig. 1). The distance between these horizontal lines corresponds to the distance between the pleural line and the surface of the chest. They are reverberation artifacts generated by the presence of air in the pulmonary parenchyma<sup>(15)</sup>.
- B-line artefacts are hyperechoic, vertically oriented lines, clearly defined, extend from the pleural line to the bottom of the screen, they move with the lung sliding (fig. 1). It is believed that they result as a consequence of the fluid-rich subpleural interlobular septa, surrounded by air. Their aetiopathogenesis has not been explained thoroughly, but the majority of authors consider them reverberation artefacts<sup>(19–21)</sup>.
- Z-line artifacts are very similar to the B-line artifacts. They are vertical, hyperechoic lines and arise from



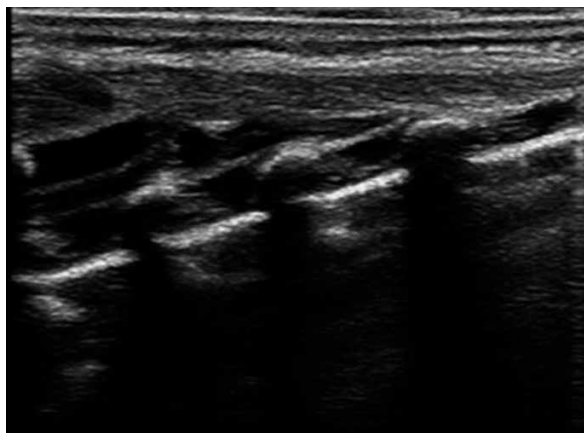
Ryc. 1. Obraz ultrasonograficzny klatki piersiowej – kolejno: tkanka podskórna, warstwa mięśni, powięź wewnątrzpiersiowa, linia opłucnej (strzałka), artefakty linii A: poziome, miernie hiperechogeniczne linie, artefakt linii B: pionowa, hiperechogeniczna linia

Fig. 1. Chest ultrasound: subcutaneous tissue, muscle layer, endothoracic fascia, pleural line (arrow), the A-line artefacts: horizontal, moderately hyperechoic lines, the B-line artefact: vertical, hyperechoic line

korzystając z opcji M-mode. W opcji tej prawidłowy obraz określany jest jako obraz „brzegu morskiego” (*seashore sign*) (ryc. 3)<sup>(18)</sup>; charakteryzuje się on brakiem ruchu widocznym powyżej linii opłucnej oraz jednorodnie ziarnistym wzorcem odbić poniżej tej linii.

#### Artefakty:

- Linii A – to poziome, miernie hiperechogeniczne linie, równoległe do linii opłucnej, powtarzające się w tej samej odległości od siebie do granicy ekranu (ryc. 1). Odległość pomiędzy tymi poziomymi liniami odpowiada odległości pomiędzy linią opłucnej a powierzchnią klatki piersiowej. Artefakty te powstają na linii opłucnej, są artefaktami rewerberacji, a generuje je obecność powietrza w miększu płuc<sup>(15)</sup>.
- Linii B – to pionowe, hiperechogeniczne linie, powstające na linii opłucnej, widoczne na całej długości ekranu i przemieszczające się zgodnie z ruchami opłucnej płucnej (ryc. 1). Uważa się, że artefakty te generowane są przez obecność niewielkiej objętości płynu pod opłucną płucną, najczęściej w przegrodach międzypłacikowych (artefakt powietrze-woda). Ich etiopatogeneza nie została do końca wyjaśniona, jednak większość autorów uznaje je za artefakty rewerberacji<sup>(19–21)</sup>.
- Linii Z – mają bardzo podobny obraz do artefaktu linii B; są to pionowe, hiperechogeniczne linie, rozpoczynające się na linii opłucnej, a generowane przez obecność niewielkiej objętości płynu w przegrodach międzypęcherzykowych pod linią opłucnej; od linii B różni je to, że kończą się w około 1/2–2/3 jego długości, nie dochodząc do granicy ekranu, i nie „wymazują” artefaktów linii A. Znaczenie praktyczne obecności tych artefaktów nie zostało jednoznacznie określone, lecz w pierwotnych założeniach nadano im



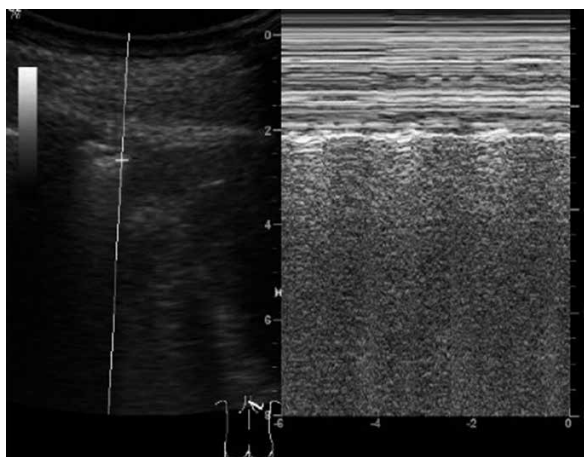
Ryc. 2. „Objaw nietoperza” tworzą sąsiadujące żebra oraz linia opłucnej pomiędzy nimi

Fig. 2. “Bat sign” created by the neighbouring ribs and the pleural line between them

the pleural line. They are generated by a slight amount of fluid in the interlobular septa under the pleural line. They differ from the B-line artifacts in that they vanish in approximately 1/2–1/3 of the screen’s length, do not reach its edges and do not “erase” the A-line artifacts. The practical relevance of these artifacts has not been unequivocally determined, they were initially named with the last letter of the alphabet, which suggests their clinical irrelevance<sup>(18)</sup>. It is believed that the Z-line artifacts are a part of normal LUS appearance since their presence is observed in approximately 80% of examinations<sup>(9)</sup>.

## ASSESSMENT

Multiple B-lines per scan in each intercostal space (transverse transducer application) indicate abnormal lung appearance. In adults, the presence of at least three B-lines



Ryc. 3. Obrazowanie w opcji M-mode. Prawidłowy obraz płuca określany jest jako obraz „brzegu morskiego” (*seashore sign*)  
Fig. 3. M-mode imaging. Normal appearance referred to as the “seashore sign”

oznaczenie Z, ostatnią z liter alfabetu, sugerując brak znaczenia klinicznego<sup>(18)</sup>. Obecnie uważa się, że artefakty linii Z są składową częścią obrazu prawidłowego, ze względu na fakt, że ich obecność stwierdza się w około 80% badań<sup>(9)</sup>.

## OCENA

Dużo linii B widocznych na jednym skanie w danej przestrzeni międzyżebrowej (poprzeczne położenie głowicy) wskazuje na nieprawidłowy obraz płuca. U dorosłych obecność co najmniej trzech linii B (artefakty ogona komety, biegnące od linii opłucnej do brzegu ekranu) w jednej przestrzeni międzyżebrowej i odległość między dwiema sąsiadującymi liniami B mniejsza niż  $7 \pm 1$  mm<sup>(8)</sup> to tzw. zespół śródmiąższowy<sup>(19)</sup>. Z kolei linie B oddalone od siebie o 3 mm lub mniej określane są jako zespoły śródmiąższowo-pęcherzykowe<sup>(22)</sup>. Średnia odległość między liniami B mierzona jest na ich początku głowicą liniową lub typu convex<sup>(23)</sup>. Obecność zwartych linii B bez wolnych obszarów między nimi określana jest mianem białego płuca<sup>(22)</sup>. Niejednorodne obszary echogenicznością przypominające echogeniczność wątroby to konsolidacje (ryc. 4)<sup>(7)</sup>.

## WYKORZYSTANIE ULTRASONOGRAFII W PRZYPADKU PATOLOGICZNYCH STANÓW I CHOROBY PŁUC U DZIECI

### Zapalenie płuc

Zakażenie układu oddechowego jest w wieku niemowlęcym i u małego dziecka najczęstszą przyczyną porad lekarskich w ciągu roku i stanowi w krajach rozwiniętych główny powód zachorowalności w wieku dziecięcym. Uwzględniając kryteria histologiczne i radiologiczne, zapalenia płuc kwalifikuje się jako: płatowe zapalenie płuc (obszar konsolidacji tkanki płucnej ograniczony do jednego płata lub segmentu płuca), odoskrzelowe zapalenie płuc (rozsiane zagęszczenia tkanki płucnej, związane z procesem zapalnym pierwotnie zlokalizowanym w małych oskrzelach), śródmiąższowe zapalenie płuc (proces zapalny zlokalizowany w przestrzeniach międzypęcherzykowych i międzypłacikowych, charakterystyczny zwłaszcza dla zakażeń wirusowych) oraz ropień płuca (martwicze zapalenie płuc – stan, w którym dochodzi do destrukcji tkanki płucnej i tworzenia jam).

Zmiany w przebiegu płatowego zapalenia płuc są wykrywane przy użyciu ultrasonografii, o ile przylegają do linii opłucnej<sup>(24)</sup>. Kształt i granice zmian zapalnych są najczęściej nieregularne<sup>(25)</sup>. We wczesnej fazie zmiana zapalna pod względem morfologii przypomina wątrobę (ryc. 4)<sup>(26)</sup>. Wewnątrz zmiany widoczny jest objaw pułapki powietrznej o soczewkowatym kształcie. Istotny symptom stanowi widoczny u 87% chorych bronchogram powietrzny, układający się tak jak drzewo oskrzelowe<sup>(27)</sup>. Bronchogram płynowy występuje we wczesnej fazie zapalenia płuc i układu się wzdłuż drzewa oskrzelowego<sup>(28)</sup>. Należy zwrócić uwagę na hipoechogeniczne lub bezechowe, okrągłe lub owalne

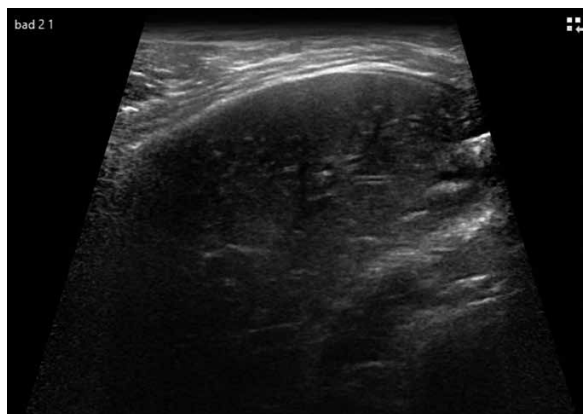
(comet tail artefacts extending from the pleural line to the edge of the screen) in one intercostal space and the distance between them lower than  $7 \pm 1$  mm<sup>(8)</sup> is so-called interstitial syndrome<sup>(19)</sup>. The distance between the B-lines which is equal to or lower than 3 mm is called alveolar-interstitial syndrome<sup>(22)</sup>. The mean distance between the B-lines is measured at their start with a linear or convex probe<sup>(23)</sup>. The presence of compact B-lines without clear distance between them is a sign of the white lung<sup>(22)</sup>. Heterogeneous tissue-like patterns resembling the echogenicity of the liver is called consolidation (fig. 4)<sup>(7)</sup>.

## USING ULTRASONOGRAPHY IN PAEDIATRIC LUNG PATHOLOGIES AND DISEASES

### Pneumonia

Respiratory infections in infancy and early childhood are the main reasons for which medical assistance is requested. In developed countries, it is the primary cause of morbidity in childhood. Taking into account histological and radiological criteria, pneumonia may be classified as: lobar pneumonia (pulmonary consolidation is limited to a single lobe or segment), bronchopneumonia (diffuse areas of pulmonary tissue thickening associated with the inflammatory process primarily localized in the lesser bronchi), interstitial pneumonia (inflammation localized in the spaces between alveoli and lobules; it is characteristic of viral infections) and pulmonary abscess (necrotizing pneumonia – a condition in which the pulmonary tissue is destroyed and cavities form).

Changes in the course of lobar pneumonia can be detected with the use of ultrasonography if they are adjacent to the pleural line<sup>(24)</sup>. The shape and margins of inflammatory changes are frequently irregular<sup>(25)</sup>. In the initial phase, an inflammatory lesion morphologically resembles the liver (fig. 4)<sup>(26)</sup>. Inside the lesion, we can observe air trapping



Ryc. 4. Konsolidacje: niejednorodne obszary, echogenicznością przypominające echogeniczność wątroby. Widoczne np. we wczesnej fazie zapalnej płatowego zapalenia płuc  
Fig. 4. Consolidations: heterogeneous areas with echogenicity resembling that of the liver. For instance, they can be observed in an early phase of lobar pneumonia

<b>Etiologia zapalenia płuc</b> <i>Aetiology of pneumonia</i>	<b>Obraz ultrasonograficzny</b> <i>Ultrasound appearance</i>
<b>Odoskrzelowe zapalenie płuc</b> <i>Bronchopneumonia</i>	Liczne drobne obszary konsolidacji przylegające do opłucnej płucnej o średnicy od kilku do kilkunastu milimetrów z widocznym poniżej zmian artefaktem linii C, często do tych zmian przylegają artefakty linii B tworzące lokalnie zespoły śródmiąższowe i śródmiąższowo-pęcherzykowe (ryc. 8) <i>Multiple, slight consolidation areas that adhere to the visceral pleura with the diameter ranging from several to a dozen or so millimetres with a C-line artefact visible below. These lesions are frequently accompanied by adjacent B-line artefacts that locally create interstitial and alveolar-interstitial syndromes (fig. 8)</i>
<b>Śródmiąższowe zapalenie płuc</b> <i>Interstitial pneumonia</i>	Liczne zespoły śródmiąższowo-pęcherzykowe (ryc. 9) <i>Multiple alveolar-interstitial syndromes (fig. 9)</i>
<b>Atypowe zapalenie płuc</b> <i>Atypical pneumonia</i>	Postać ograniczona: przylegający do opłucnej płucnej obszar konsolidacji, różnej wielkości, z możliwością zajęcia całego płata, dodatkowo: lokalnie występujący płyn, artefakty linii B i nierówny zarys linii opłucnej Postać rozlana: liczne, drobne konsolidacje przylegające do opłucnej płucnej, obecne w różnych obszarach płuc, często występują liczne artefakty linii Z i artefakty linii I <i>Limited form: a consolidation area adhering to the visceral pleura, of various sizes with possible involvement of the entire lobe. Additionally: local fluid collections, B-line artefacts and uneven outline of the pleural line</i> <i>Diffuse form: multiple slight consolidations adhering to the visceral pleura, present in various parts of the lungs, frequently with multiple Z-line and I-line artefacts</i>

Tab. 1. Obraz ultrasonograficzny płuc w zależności od etiologii

Tab. 1. Ultrasound appearance of the lungs depending on the aetiology

zmiany o regularnych granicach, które mogą odpowiadać ropniom albo mikropniom<sup>(29)</sup>. Ponadto można skorzystać z opcji dopplerowskiej: dla zmian zapalnych płuc o etiologii bakteryjnej typowy jest układ naczyń w kształcie charakterystycznego drzewka<sup>(30)</sup>.

Obraz ultrasonograficzny zapalenia płuc w zależności od etiologii przedstawiony został w tab. 1.

### Płyn w jamie opłucnej

Najczęściej występuje jako bezechowa przestrzeń układająca się sierpowato pomiędzy przeponą a płucem w zachyłku przeponowo-żebrowym (ryc. 5). Kształt przestrzeni płynowej może się zmieniać w zależności od pozycji pacjenta oraz od fazy oddechu<sup>(25)</sup>. Płyn może układać się równoległe do powierzchni opłucnej lub występować lokalnie, tuż nad zmianą ogniskową.

U dzieci płyn w jamie opłucnej ma zazwyczaj charakter zapalny (wysięk). Często jest to zapalenie opłucnej w przebiegu innych postaci zapalenia płuc (np. wirusowego). Z kolei w ropniaku opłucnowym (ropne zapalenie opłucnej) płyn będzie mętny, a więc może mieć wyższą, niejednorodną echogeniczność. Długo utrzymujący się płyn wysiękowy może współistnieć z przegrodami<sup>(31)</sup>. Ultrasonografia jest niezwykle istotna w przypadku wykonywania zabiegu odbarczenia jamy opłucnowej, umożliwia bowiem dokładną lokalizację największego zbiornika płynowego<sup>(7)</sup>.

### Niedodma

Ograniczone procesy zapalne miąższu płucnego mogą na skutek nacieku zapalnego i obrzęku powodować ucisk i upośledzać drożność upowietrzonych segmentów płuc. PBUP umożliwia zobrazowanie miąższu płucnego objętego niedodmą dzięki zredukowanej, a nawet zniesionej wentylacji w danej części płuca<sup>(26)</sup>. Obszar niedodmy jest zwykle klinowatego kształtu, hipoechogeniczny o homogennej strukturze, nieostro odgraniczony od zdrowego miąższu płucnego (ryc. 6)<sup>(15)</sup>. W niedodmie z ucisku w zmienionym

of a lentoid shape. The air bronchogram, shaped as the bronchial tree and observed in 87% of patients, is a significant sign<sup>(27)</sup>. Fluid bronchogram can be found in an early phase of pneumonia along the bronchial tree<sup>(28)</sup>. Attention should be paid to hypoechoic or anechoic, round or oval lesions with irregular margins that could correspond to abscesses or microabscesses<sup>(29)</sup>. Moreover, the Doppler mode can be used: a characteristic tree-shaped structure of vessels is typical of bacterial inflammatory lesions<sup>(30)</sup>.

The ultrasound appearance of pneumonia depending on the aetiology is presented in tab. 1.

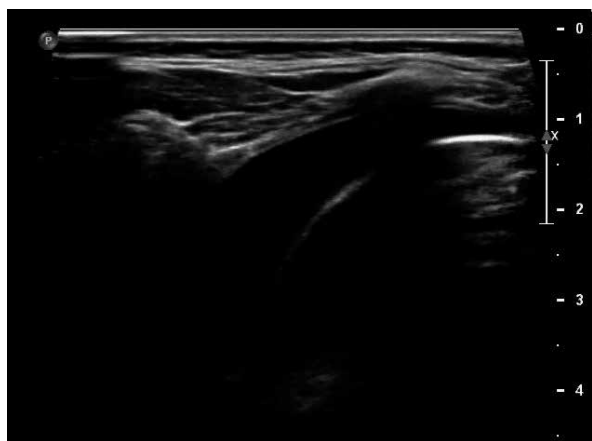
### Pleural fluid

Pleural effusion usually presents as an anechoic crescent-shaped space between the diaphragm and lung in the costodiaphragmatic recess (fig. 5). The shape of a fluid collection may change with the patient's position or phase of respiration<sup>(25)</sup>. Fluid may be parallel to the pleural surface or occur locally above a focal lesion.

In children, pleural fluid is usually of inflammatory character (exudate). This is frequently pleuritis in the course of other forms of pneumonia (e.g. viral). In pleural empyema (purulent pleuritis), however, fluid is turbid and may have higher, heterogeneous echogenicity. Persistent effusion may coexist with septa<sup>(31)</sup>. Ultrasonography is of considerable importance in pleural decompression procedures since it enables accurate localisation of the largest fluid collections<sup>(7)</sup>.

### Atelectasis

Limited inflammation of the pulmonary parenchyma may compress and impair the patency of the aerated lung segments due to inflammatory infiltration and oedema. TLUS enables imaging of the pulmonary parenchyma affected by atelectasis thanks to reduced or even absent ventilation in a given part of the lung<sup>(26)</sup>. The area of atelectasis is usually wedge-shaped, hypoechoic, homogeneous structure and



Ryc. 5. Płyn w jamie opłucnej: bezechowa przestrzeń układająca się sierpowato pomiędzy przeponą a płucem w zachyłku przeponowo-żebrowym

Fig. 5. Pleural effusion: an anechoic crescent-shaped space between the diaphragm and lung in the costodiaphragmatic recess

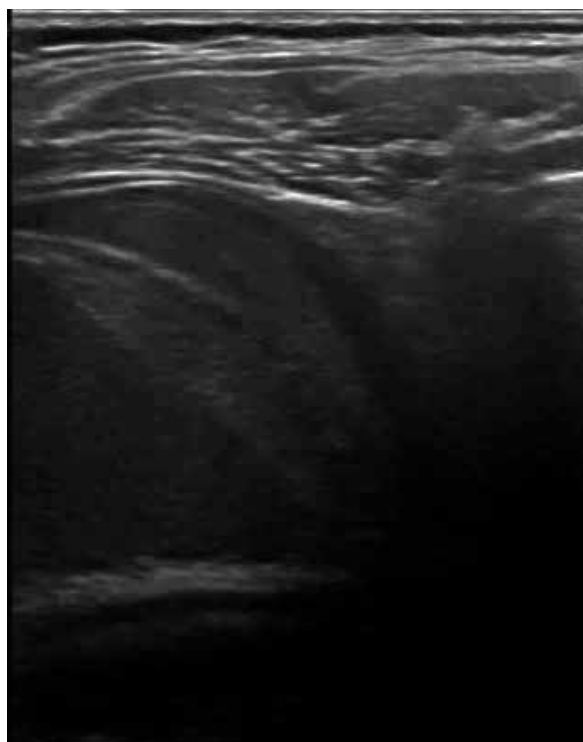
obszarze pojawia się objaw pułapki powietrznej (statyczny bronchogram powietrzny)<sup>(32)</sup>, a w jamie opłucnej często występuje znaczna objętość płynu. W przypadku niedodmy obturacyjnej charakterystyczne są: występowanie zmian ogniskowych (mikroropnie, zmiany o charakterze rozrostowym), niewielka objętość lub brak płynu w jamie opłucnej oraz bronchogram płynowy<sup>(29)</sup>.

### Zapalenie oskrzelików

Jest to jedna z najcięższych chorób dolnych dróg oddechowych, przebiegająca z zagrażającą życiu niewydolnością oddechową. Występuje przeważnie u dzieci w wieku poniżej 2 lat, najczęściej u niemowląt w 2.–6. miesiącu życia. W PBUP zazwyczaj w obu płucach obserwuje się dużą liczbę drobnych, przylegających do linii opłucnej obszarów konsolidacji, a także dużo linii B, które mają tendencję do zlewania się (ryc. 7). Poza tym można zaobserwować obszary niedodmy, głównie w górnych płatach, szczególnie po prawej stronie. Nasilenie zmian w płucach koreluje z obrazem klinicznym<sup>(33)</sup>. Uzasadnieniem wykonywania PBUP jest wykluczenie zapalenia płuc.

### Odma jamy opłucnej

Odma jamy opłucnej, definiowana jako obecność powietrza w jamie opłucnej, w populacji pediatrycznej rozpoznawana jest u nielicznej grupy chorych<sup>(34)</sup>. W PBUP odmę opłucnową rozpoznaje się w przypadku zniesienia objawu ślizgania, czyli braku ruchu opłucnej płucnej względem opłucnej ściennej podczas oddychania. Z tego samego powodu w odmie opłucnowej nie uwidoczniają się artefakty linii B (wywodzące się z opłucnej płucnej)<sup>(13)</sup>. Kolejnym kryterium pozwalającym potwierdzić odmę opłucnową, opisanym przez Lichtensteina, jest *lung point*. Określa się tak objaw ultrasonograficzny wyznaczający granicę pomiędzy



Ryc. 6. Obszar niedodmy jest zwykle klinowatego kształtu, hipoechogeniczny, o homogennej strukturze, nieostro odgraniczony od zdrowego miąższu płucnego

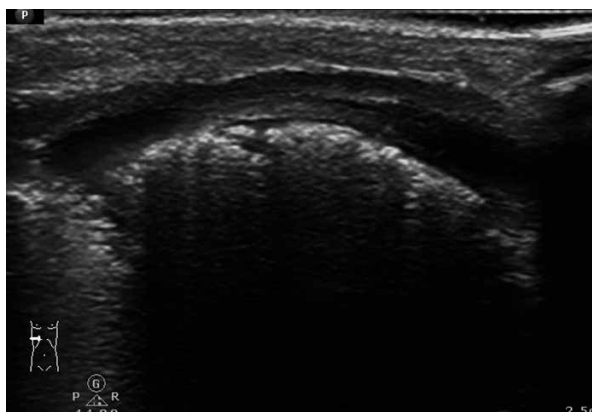
Fig. 6. Area of atelectasis is usually wedge-shaped, hypoechoic, of homogeneous structure and not sharply delineated from the normal pulmonary parenchyma

not sharply delineated from the normal pulmonary parenchyma (fig. 6)<sup>(15)</sup>. In compression atelectasis, air trapping sign appears in the affected area (static air bronchogram)<sup>(32)</sup>, and considerable amount of fluid is observed in the pleural cavity. In the case of obstructive atelectasis, the following are typical: focal lesions (microabscesses, proliferative lesions), slight amounts or absence of pleural fluid and fluid bronchogram<sup>(29)</sup>.

### Bronchiolitis

Bronchiolitis is one of the most severe diseases of the lower respiratory tract, in the course of which life-threatening respiratory failure occurs. The disease usually develops in children younger than 2 years old and most frequently in infants aged 2–6 months. TLUS usually presents areas of coalescent B-lines with irregular and often thickened pleural line unequally distributed and contiguous to spared areas (normal echographic appearance) are seen as well as different size subpleural consolidations (fig. 7). Moreover, areas of atelectasis can be observed, mainly in the upper lobes, usually on the right side. The intensification of lesions in the lungs correlates with the clinical picture<sup>(33)</sup>. TLUS can be performed when pneumonia has been ruled out.





Ryc. 7. Zapalenie oskrzelików: dużo linii B, które mają tendencję do zlewania się

Fig. 7. Bronchiolitis: multiple B-lines that tend to merge

komorą odmową a prawidłowo powietrznym płucem<sup>(35)</sup>. Jest on efektem przybliżania się do ściany klatki piersiowej zapadniętego płuca w wyniku nieznacznego wzrostu jego objętości podczas wdechu. Swoistość objawu *lung point* wynosi 100%<sup>(3)</sup>. Swoistość i czułość PBUP w odmie opłucnowej wynoszą odpowiednio 100% i 88%<sup>(6)</sup>.

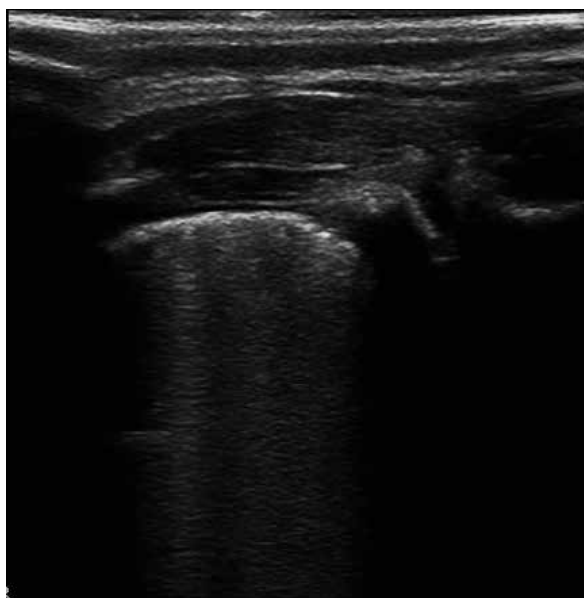
### Obrzęk płuc u dzieci

Stwierdzenie obrzęku płuc na podstawie badania ultrasonograficznego płuc polega również na interpretacji artefaktów, głównie linii B<sup>(36)</sup>. Obecność co najmniej trzech linii B (artefakty ogona komety, biegnące od linii opłucnej do brzegu ekranu) w jednej przestrzeni międzyżebrowej i odległość między dwiema sąsiadującymi liniami B wynosząca mniej niż  $7 \pm 1$  mm to tzw. zespół śródmiąższowy<sup>(19)</sup>.

Obrzęk płuc stwierdza się, gdy zespoły śródmiąższowo-pęcherzykowe szerzą się nad całą powierzchnią przednio-boczną lub boczną płuc<sup>(37)</sup>. Zespół śródmiąższowy znajdujący się w ostatniej przestrzeni międzyżebrowej lub pojedynczy, odosobniony może występować fizjologicznie i nie świadczy o obrzęku płuc<sup>(37)</sup>. Suma zespołów śródmiąższowo-pęcherzykowych dostarcza informacji na temat obecności obrzęku płuc, a także objętości płynu pozanaczyniowego znajdującego się w przestrzeni śródmiąższowej<sup>(36)</sup>. Zespoły śródmiąższowo-pęcherzykowe występują już we wczesnej fazie obrzęku płuc (okres śródmiąższowego obrzęku płuc), co skutkuje wysoką czułością (97%) i swoistością (95%) PBUP<sup>(38)</sup>. Często jednak, szczególnie gdy obrzęk płuc jest znacznie nasilony, linie B zlewają się ze sobą, dając obraz tzw. białego płuca<sup>(39)</sup> (ryc. 8).

### Zatorowość płucna

W ogólnej populacji dziecięcej zatorowość płucna (ZP) jest schorzeniem rzadkim. W polskim piśmiennictwie dostępna jest jedna praca na temat ZP w pediatrii<sup>(40)</sup>. Choroba ta może być istotnym problemem klinicznym w niektórych



Ryc. 8. Obraz tzw. białego płuca: zlewające się ze sobą linie B; występuje np. w nasilonym obrzęku płuc

Fig. 8. White lung: B-lines merging with one another; this is observed, for instance, in severe pulmonary oedema

### Pneumothorax

In the paediatric population, pneumothorax, defined as the presence of air in the pleural cavity, is not diagnosed in numerous groups of patients<sup>(34)</sup>. The absence of the sliding sign in TLUS, the absence of visceral pleura movement in relation to the parietal pleura during respiration, suggests pneumothorax. The B-line artifacts (that arise from the visceral pleura) are not visible for the same reason<sup>(13)</sup>. As reported by Lichtenstein, another criterion that confirms pneumothorax is the lung point. This term denotes an ultrasound sign that marks the border between pneumothorax and the normally aerated lung<sup>(35)</sup>. It is the effect of the collapsed lung moving closer to the chest wall due to a slight increase in its volume on inspiration. The specificity of lung point is 100%<sup>(3)</sup>. The specificity and sensitivity of TLUS are 100% and 88%, respectively<sup>(6)</sup>.

### Pulmonary oedema

The diagnosis of pulmonary oedema in a lung ultrasound examination consists of the B-lines interpretation<sup>(36)</sup>. The presence of at least three B-lines (comet tail artefacts extending from the pleural line to the edge of the screen) in one intercostal space with the distance between two neighbouring B-lines lower than  $7 \pm 1$  mm is called interstitial syndrome<sup>(19)</sup>.

Pulmonary oedema is diagnosed when alveolar-interstitial syndromes extend over the entire anterolateral and lateral aspects of the lungs<sup>(37)</sup>. Isolated, single interstitial syndrome in the lower intercostal space may be a physiological phenomenon and does not attest to pulmonary oedema<sup>(37)</sup>.



Ryc. 9. Zatorowość płucna: zmiana o trójkątnym kształcie, podstawą zwrócona do opłucnej

Fig. 9. Pulmonary embolism: a triangular, pleura-based lesion

grupach pacjentów. Jej diagnostyka u dzieci jest trudna, gdyż nie ma jednolitych schematów określających postępowanie w przypadku jej podejrzenia. Najbardziej charakterystyczną cechą ZP w badaniu USG jest uwidocznienie dwóch lub więcej zmian okrągłego lub trójkątnego kształtu, podstawą zwróconych do opłucnej (ryc. 9)<sup>(41)</sup>. Według kryteriów ustanowionych przez Mathisa i wsp. obraz ultrasonograficzny w przebiegu ZP można podzielić na: I – ZP pewną, II – ZP prawdopodobną, III – ZP możliwą. Uważa się, że o pewnym ultrasonograficznym rozpoznaniu ZP można mówić, gdy w badaniu uwidocznione zostają dwie charakterystyczne zmiany lub więcej, okrągłego lub trójkątnego kształtu, podstawą zwrócone do opłucnej (ryc. 9). ZP jest prawdopodobna, gdy występuje jedna typowa zmiana wraz z wysiękiem opłucnowym. ZP jest możliwa, gdy występują małe zmiany (<5 mm) podstawą zwrócone do opłucnej wraz z płynem w jamie opłucnej<sup>(42)</sup>.

## PODSUMOWANIE

W ostatnim czasie obserwuje się rosnące zainteresowanie przekłatkową ultrasonografią płuc u dzieci. Oczywiście jest, że ultrasonografia nie zastąpi RTG, ale zdecydowanie może pomóc ograniczyć jej zastosowanie w praktyce klinicznej, z wyraźną korzyścią, jaką jest uniknięcie promieniowania jonizującego. USG może zostać wykorzystane w pełni jedynie wówczas, gdy używane jest przez klinicystę znającego historię pacjenta, a tym samym potrafiącego zinterpretować obraz w odniesieniu do danej sytuacji klinicznej. Ultrasonografia daje możliwość przyłożkowego badania. Co więcej, można ją powtarzać, monitorując postępy terapii, dzięki czemu łatwiej podjąć decyzję o zmianie leczenia w przypadku braku widocznej poprawy stanu pacjenta. Zastosowanie PBUP w praktyce klinicznej jest obiecujące. Z uwagi na wysoką skuteczność diagnostyczną tej metody, stosunkowo krótki czas, w jakim badanie to można wykonać, dostępność oraz niski koszt wydaje się, że PBUP powinno być pierwszym badaniem obrazowym w pediatrii.

The sum of alveolar-interstitial syndromes delivers information on the presence of pulmonary oedema and the volume of interstitial fluid<sup>(36)</sup>. Alveolar-interstitial syndromes can be observed from an early phase of pulmonary oedema (stage of interstitial pulmonary oedema), which results in high sensitivity (97%) and specificity (95%) of TLUS<sup>(38)</sup>. However, the B-line merging with resulting image of the white lung is a frequent phenomenon, particularly when pulmonary oedema is severe<sup>(39)</sup> (fig. 8).

## Pulmonary embolism

In the general paediatric population, pulmonary embolism (PE) is a rare condition. In the Polish literature, only one paper on PE in paediatric patients was published<sup>(40)</sup>. This disease may be a significant clinical problem in certain groups of patients. Its diagnosis in children is difficult since there are no uniform principles concerning procedures in case of such a suspicion. The most characteristic features of PE in a US examination are two or more round or triangular lesions with their bases directed towards the pleura (fig. 9)<sup>(41)</sup>. According to the criteria established by Mathis *et al.*, ultrasound appearance in PE may be divided into: I – certain PE, II – probable PE and III – possible PE. It is believed that PE is certain in a US examination when there are two or more typical triangular or round pleural-based lesions (fig. 9). PE is probable when there is one typical lesion with pleural effusion. Finally, PE is possible when there are small (<5 mm) pleural-based lesions and pleural effusion<sup>(42)</sup>.

## CONCLUSION

In the recent years, transthoracic lung ultrasound in children has been gaining popularity. Ultrasonography certainly cannot replace X-ray but can considerably help to reduce its usage in clinical practice which could bring benefits, i.e. avoiding ionising radiation. Ultrasonography can be used to its full advantage only when a clinician that performs the examination is familiar with the patient's medical history and is able to interpret a US image with respect to a given clinical situation. Ultrasonography enables bedside examinations. Furthermore, it can be repeated thus monitoring the progress of treatment. This facilitates decisions about changing therapies if no evident improvement is observed. The usage of TLUS in the clinical practice is promising. Due to high diagnostic effectiveness, relatively short time in which it can be performed, accessibility and low cost, it seems that TLUS should become the first imaging examination in paediatrics.

## Conflict of interest

The authors do not report any financial or personal links with other persons or organizations, which might negatively affect the content of this publication and claim authorship rights to this publication.

### Konflikt interesów

Autorzy nie zgłaszają żadnych finansowych ani osobistych powiązań z innymi osobami lub organizacjami, które mogłyby negatywnie wpłynąć na treść publikacji oraz rościć sobie prawo do tej publikacji.

### Piśmiennictwo/References

- Lovrenski J: Lung ultrasonography of pulmonary complications in preterm infants with respiratory distress syndrome. *Ups J Med Sci* 2012; 117: 10–17.
- Datz H, Ben-Shlomo A, Bader D *et al.*: The additional dose to radiosensitive organs caused by using under-collimated X-ray beams in neonatal intensive care radiography. *Radiat Prot Dosimetry* 2008; 130: 518–524.
- Armpilia CI, Fife IA, Croasdale PL: Radiation dose quantities and risk in neonates in a special care baby unit. *Br J Radiol* 2002; 75: 590–595.
- Dougeni ED, Delis HB, Karatza AA *et al.*: Dose and image quality optimization in neonatal radiography. *Br J Radiol* 2007; 80: 807–815.
- Minigh J: Pediatric radiation protection. *Radiol Technol* 2005; 76: 365–378.
- Smans K, Struelens L, Smet M *et al.*: Patient dose in neonatal units. *Radiat Prot Dosimetry* 2008; 131: 143–147.
- Buda N, Kosiak W, Paczkowski K *et al.*: Przekłatkowa ultrasonografia płuc w Klinice Pneumonologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego – podsumowanie studenckiego projektu badawczego. *Ultrasonografia* 2009; 9 (38): 31–38.
- Fuhlbrigge AL, Choi AM: Diagnostic procedures in respiratory disease. In: Fauci AS, Braunwald E, Kasper DL *et al.* (eds.): *Harrison's Principles of Internal Medicine*. McGraw-Hill, New York 2008: 17.
- Kosiak W: Ultrasonograf stetoskopem w anestezjologii i medycynie ratunkowej: mit czy rzeczywistość? Część 1: Obraz prawidłowy i podstawy diagnostyki ultrasonograficznej płuc. *Anestezjologia i Ratownictwo* 2010; 4: 99–110.
- Szopiński K: Podstawy fizyczne i aparaturowe diagnostyki usg. In: Jakubowski W (ed.): *Diagnostyka ultrasonograficzna w gabinecie lekarza rodzinnego*. Tom II, Roztoczańska Szkoła Ultrasonografii, Warszawa – Zamość 2003: 14–36.
- Gargani L: Lung ultrasound: a new tool for the cardiologist. *Cardiovasc Ultrasound* 2011; 9: 6.
- Lichtenstein DA: Ultrasound examination of the lungs in the intensive care unit. *Pediatr Crit Care Med* 2009; 10: 693–698.
- Cattarossi L: Lung ultrasound: its role in neonatology and pediatrics. *Early Hum Dev* 2013; 89 (Suppl 1): S17–S19.
- Federici M, Federici PV, Feleppa F *et al.*: Pulmonary ultrasonography in the follow-up of respiratory distress syndrome on preterm newborns. Reduction of X-ray exposure. *J Ultrasound* 2011; 14: 78–83.
- Lichtenstein DA: Ultrasound in the management of thoracic disease. *Crit Care Med* 2007; 35 (Suppl 5): S250–S261.
- Lichtenstein DA: *General Ultrasound in the Critically Ill*. Springer, Paris 2002: 96, 105, 116.
- Bouhemad B, Zhang M, Lu Q *et al.*: Clinical review: bedside lung ultrasound in critical care practice. *Crit Care* 2007; 11: 205.
- Lichtenstein DA: Lung ultrasound in the critically ill. In: Vincent JL (ed.): *Yearbook of Intensive Care and Emergency Medicine*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York 2004: 625–644.
- Lichtenstein D, Mézière G, Biderman P *et al.*: The comet-tail artifact. An ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 156: 1640–1646.
- Lichtenstein D, Mézière G: A lung ultrasound sign allowing bedside distinction between pulmonary edema and COPD: the comet-tail artifact. *Intensive Care Med* 1998; 24: 1331–1334.
- Soldati G, Copetti R, Sher S: Sonographic interstitial syndrome: the sound of lung water. *J Ultrasound Med* 2009; 28: 163–174.
- Copetti R, Cattarossi L, Macagno F *et al.*: Lung ultrasound in respiratory distress syndrome: a useful tool for early diagnosis. *Neonatology* 2008; 94: 52–59.
- Stefanidis K, Dimopoulos S, Nanas S: Basic principles and current applications of lung ultrasonography in the intensive care unit. *Respirology* 2011; 16: 249–256.
- Beckh S, Bölskei PL, Lessnau KD: Real-time chest ultrasonography: a comprehensive review for the pulmonologist. *Chest* 2002; 122: 1759–1773.
- Koh DM, Burke S, Davies N *et al.*: Transthoracic US of the chest: clinical uses and applications. *Radiographics* 2002; 22: e1.
- Beckh S, Mathis G, Görg C: Subpleural lung consolidations. In: Mathis G (ed.): *Chest Sonography*. Springer, Heidelberg 2008: 47–105.
- Weinberg B, Diakoumakis EE, Kass EG *et al.*: The air bronchogram: sonographic demonstration. *AJR Am J Roentgenol* 1986; 147: 593–595.
- Yang PC, Luh KT, Chang DB *et al.*: Ultrasonographic evaluation of pulmonary consolidation. *Am Rev Respir Dis* 1992; 146: 757–762.
- Mathis G: Thoraxsonography. Part II: Peripheral pulmonary consolidation. *Ultrasound Med Biol* 1997; 23: 1141–1153.
- Kosiak W: Przekłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc – diagnostyka dopplerowska. *Ultrasonografia* 2010; 10 (41): 81–85.
- Yang PC, Luh KT, Chang DB *et al.*: Value of sonography in determining the nature of pleural effusion: analysis of 320 cases. *AJR Am J Roentgenol* 1992; 159: 29–33.
- Lan RS, Lo SK, Chuang ML *et al.*: Elastance of the pleural space: a predictor for the outcome of pleurodesis in patients with malignant pleural effusion. *Ann Intern Med* 1997; 126: 768–774.
- Caiulo VA, Gargani L, Caiulo S *et al.*: Lung ultrasound in bronchiolitis: comparison with chest X-ray. *Eur J Pediatr* 2011; 170: 1427–1433.
- Kosiak W: Diagnostyka ultrasonograficzna jatrogennej odmy jamy opłucnej u dzieci. *J Ultrasound* 2013; 13: 379–393.
- Lichtenstein DA, Mézière G, Biderman P *et al.*: The “lung point”: an ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive Care Med* 2000; 26: 1434–1440.
- Igielska B, Buda N, Kosiak W: Przekłatkowa ultrasonografia płuc w diagnostyce kardiogennej obrzęku płuc – przegląd piśmiennictwa. *Ultrasonografia* 2011; 11 (44): 46–49.
- Volpicelli G, Caramello V, Cardinale L: Bedside ultrasound of the lung for the monitoring of acute decompensated heart failure. *Am J Emerg Med* 2008; 26: 585–591.
- Fagenholz P, Gutman JA, Murray AF: Chest ultrasonography for the diagnosis and monitoring of high-altitude pulmonary edema. *Chest* 2007; 131: 1013–1018.
- Lichtenstein DA, Lascols N, Mézière G: Ultrasound diagnosis of alveolar consolidation in the critically ill. *Intensive Care Med* 2004; 30: 276–281.
- Kosiak M, Kosiak W, Korbus-Kosiak A: Zatorowość płucna w pediatrii – trudności i nadzieje diagnostyczne. *Ultrasonografia* 2008; 8 (32): 65–70.
- Reissig A, Heyne JP, Kroegel C: [Diagnosis of pulmonary embolism by transthoracic sonography. Sono-morphologic characterization of pulmonary lesions and comparison with spiral computed tomography]. *Dtsch Med Wochenschr* 2000; 125: 1487–1491.
- Mathis G, Blank W, Reissig A *et al.*: Thoracic ultrasound for diagnosing pulmonary embolism: a prospective multicenter study of 352 patients. *Chest* 2005; 128: 1531–1538.