

Submitted: 13.11.2013

Accepted: 20.11.2013

Diagnostyka ultrasonograficzna jatrogennej odmy jamy opłucnej u dzieci

Sonography of iatrogenic pneumothorax in pediatric patients

Wojciech Kosiak

Pracownia Diagnostyki Ultrasonograficznej i Biopsyjnej przy Klinice Pediatrii, Hematologii i Onkologii, Gdański Uniwersytet Medyczny, Gdańsk, Polska
Correspondence: Wojciech Kosiak, Pracownia Diagnostyki Ultrasonograficznej i Biopsyjnej przy Klinice Pediatrii, Hematologii i Onkologii, Gdański Uniwersytet Medyczny, ul. Dębinki 7, 80-211 Gdańsk, e-mail: kwojtek@gumed.edu.pl, tel.: +48 58 349 29 22

Słowa kluczowe

odma opłucnowa,
dzieci,
ultrasonografia,
jatrogenna odma
opłucnowa,
przezskłatkowe
badanie
ultrasonograficzne
płuc

Streszczenie

Odma jamy opłucnej definiowana jest jako obecność powietrza w jamie opłucnej. W populacji pediatrycznej jatrogenna odma jamy opłucnej rozpoznawana jest z częstością 0,3–0,48 na 1000 pacjentów. Konwencjonalne badanie radiologiczne klatki piersiowej, w szczególnych przypadkach uzupełnione o tomografię komputerową klatki piersiowej, to klasyczne badanie obrazowe, za którego pomocą potwierdza się rozpoznanie odmy jamy opłucnej. W ostatnich latach wzrosło znaczenie przezskłatkowego badania ultrasonograficznego płuc w diagnostyce odmy jamy opłucnej. Potwierdza to stanowisko grupy ekspertów z zakresu diagnostyki ultrasonograficznej płuc w stanach zagrożenia życia, którzy mocno rekomendują przezskłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc do rozpoznawania odmy jamy opłucnej w wymienionych wyżej grupach chorych. Dane te stanowiły podstawę podjęcia prospektywnych badań nad możliwością wykorzystania tej metody w diagnostyce odmy jamy opłucnej w grupie pacjentów oddziałów hematologii i onkologii dziecięcej. **Cel pracy:** Celem pracy było przedstawienie możliwości wykorzystania przezskłatkowego badania ultrasonograficznego płuc w diagnostyce odmy jamy opłucnej u dzieci, ze szczególnym uwzględnieniem jatrogennej odmy jamy opłucnej. Omówiono ultrasonograficzne kryteria diagnostyczne odmy jamy opłucnej u pacjentów pediatrycznych, z uwzględnieniem czułości i swoistości metody w porównaniu z klasycznym badaniem radiologicznym klatki piersiowej. **Materiał i metody:** Prospektywnymi badaniami objęto grupę pacjentów leczonych w Klinice Pediatrii, Hematologii, Onkologii i Endokrynologii Dziecięcej UCK, u których wykonano zabieg założenia centralnego dostępu żylnego do naczyń podobojczykowych. Badania były prowadzone przez okres jednego roku – od 1 lipca 2011 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. Analizie poddano wyniki 115 badań ultrasonograficznych wykonanych w tej grupie pacjentów. **Wyniki:** W analizowanej grupie pacjentów z rozpoznaniem lub podejrzeniem choroby nowotworowej jatrogenną odmę jamy opłucnej rozpoznano u 4 spośród 63 pacjentów (6,3%). We wszystkich przypadkach była ona konsekwencją procedur związanych z zakładaniem cewnika centralnego. W przebadanym materiale czułość, specyficzność oraz wartości predykcyjne (dodatnia i ujemna) dla przezskłatkowego badania ultrasonograficznego płuc wyniosły 100%. **Wnioski:** Przezskłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc jest bardzo skuteczną metodą w diagnostyce jatrogennej odmy jamy opłucnej u dzieci. W celu potwierdzenia tej koncepcji konieczne są jednak wielośrodkowe badania na znacznie większej grupie przypadków.

Key words

pneumothorax,
pediatric population,
sonography, iatrogenic
pneumothorax,
transthoracic lung
ultrasound

Abstract

Pneumothorax is defined as the presence of air in the pleural cavity. The incidence of iatrogenic pneumothorax in the pediatric population is 0.3–0.48 in 1000 patients. A conventional chest X-ray, in some cases supplemented with chest computed tomography, is a typical imaging examination used to confirm the diagnosis of pneumothorax. Within the last years, the relevance of transthoracic lung ultrasound in the diagnostic process of this disease entity has greatly increased. This is confirmed by the opinion of a group of experts in ultrasound lung imaging in patients in a life-threatening condition, who strongly recommend a transthoracic ultrasound examination for the diagnosis of pneumothorax in such patients. These data constituted the basis for initiating the prospective studies on the application of this method in pneumothorax diagnosis in patients of pediatric hematology and oncology wards. **Aim:** The aim of the study was to present the possibility of using the transthoracic lung ultrasound in the diagnostic process of pneumothorax in pediatric patients, with particular attention paid to its iatrogenic form. The article discusses sonographic criteria for pneumothorax diagnosis in pediatric patients, including the sensitivity and specificity of the method, in relation to conventional chest X-ray. **Material and methods:** The prospective studies included a group of patients treated in the Clinic of Pediatrics, Pediatric Hematology, Oncology and Endocrinology of the Academic Clinical Centre (Medical University of Gdańsk, Poland) in whom a central venous catheter was placed in the subclavian veins. The studies lasted for one year – from 1 July 2011 to 30 June 2012. The examined group comprised 63 patients – 25 girls (39.7%) and 38 boys (60.3%) aged from 1 to 17. The analysis included the results of 115 ultrasound examinations conducted in this group. **Results:** In the examined group with suspected or diagnosed neoplasm, iatrogenic pneumothorax was identified in 4 out of 63 patients (6.3%). In all cases, it was a consequence of procedures connected with the introduction of a central catheter. In the examined material, the sensitivity, specificity and predictive values (positive and negative) of the transthoracic lung ultrasound equaled 100%. **Conclusions:** The transthoracic ultrasound examination is a highly effective method in diagnosing iatrogenic pneumothorax in pediatric patients. However, to confirm this conclusion, multicenter studies, among considerably larger populations, are necessary.

Wstęp

Odma jamy opłucnej, definiowana jako obecność powietrza w jamie opłucnej, w populacji pediatrycznej rozpoznawana jest u nielicznej grupy chorych. Dostępnych jest kilkanaście publikacji prezentujących częstość występowania odmy jamy opłucnej u dorosłych, zaś do dzieci odnoszą się tylko pojedyncze opracowania. Według brytyjskich danych 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 występowania w innych grupach wiekowych (0,42 na 1000 pacjentów w przedziale wieku 18–44 lata oraz 0,43 pomiędzy 45. a 64. rokiem życia; nieco wyższą – 0,74 – odnotowano w grupie pacjentów powyżej 65. roku życia)⁽¹⁾. 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⁽²⁾. Jedną z głównych grup ryzyka wystąpienia odmy jamy opłucnej w populacji pediatrycznej jest grupa noworodków, u których najczęściej występującą przyczyną tego schorzenia jest barotrauma. Natomiast w grupie dzieci starszych, podobnie jak w grupie pacjentów dorosłych, istotniejszymi czynnikami etiologicznymi są inwazyjne procedury terapeutyczno-diaagnostyczne, takie jak zakładanie centralnego dostępu żylnego czy torakocenteza⁽³⁾.

Introduction

Pneumothorax, defined as the presence of air in the pleural cavity, occurs rarely in pediatric patients. There are a dozen or so publications discussing the incidence of pneumothorax in adults but information about children can be found only in single papers. According to the British data based on the Healthcare Cost and Utilization Project (HCUP) report, in 1997, iatrogenic pneumothorax was diagnosed in 0.48 per 1000 patients aged 0–17. This value was similar to the incidence in other age groups (0.42 per 1000 patients aged 18–44 and 0.43 in those aged 45–64; a slightly higher incidence – 0.74 – was noted in the group of patients above the age of 65)⁽¹⁾. According to Miller's data, in 2000 in Great Britain, iatrogenic pneumothorax was diagnosed in 0.3 per 1000 patients aged 0–18⁽²⁾. In the pediatric population, one of the main groups at risk of developing pneumothorax is the group of neonates in whom the most common cause of this condition is barotrauma. However, in older pediatric groups and in adult patients, more significant etiological factors are invasive diagnostic and therapeutic procedures, such as central venous access (CVA) or thoracocentesis⁽³⁾.

Przekłatkowe badanie ultrasonograficzne płuc w diagnostyce odmy jamy opłucnej

Konwencjonalne badanie radiologiczne klatki piersiowej, w szczególnych przypadkach uzupełnione o tomografię komputerową (TK) klatki piersiowej, to klasyczne badanie obrazowe, za którego pomocą potwierdza się rozpoznanie odmy jamy opłucnej. Obie te metody diagnostyczne wykorzystywane są zarówno w pediatrii, jak i u pacjentów dorosłych, a badanie za pomocą TK powszechnie uważane jest za złoty standard diagnostyczny odmy jamy opłucnej. W ostatnich latach wzrosło znaczenie przekłatkowego badania ultrasonograficznego płuc (PBUP) w rozpoznawaniu odmy jamy opłucnej – dotyczy to głównie grupy chorych dorosłych w stanie zagrożenia życia oraz pacjentów po urazie klatki piersiowej i po zabiegach diagnostyczno-terapeutycznych w obrębie klatki piersiowej. Potwierdza to publikacja stanowiska grupy ekspertów z zakresu diagnostyki ultrasonograficznej (USG) płuc w stanach zagrożenia życia, którzy mocno rekomendują PBUP w rozpoznawaniu odmy jamy opłucnej w wymienionych wyżej grupach chorych⁽⁴⁾. W metaanalizie opublikowanych danych dotyczących diagnostyki odmy jamy opłucnej za pomocą PBUP Ding i wsp. (2011) udowadniają dużą przydatność tej metody obrazowania, oceniając czułość i swoistość PBUP jako równą lub wyższą od klasycznego badania radiologicznego (RTG) klatki piersiowej w diagnostyce odmy jamy opłucnej u pacjentów dorosłych⁽⁵⁾.

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 badań prospektywnych. Kolejnym argumentem za podjęciem tych badań był brak w dostępnym piśmiennictwie podobnych lub zbliżonych danych dla populacji pediatrycznej.

Material i metody

Prospektywnymi badaniami objęto grupę pacjentów leczonych w Klinice Pediatrii, Hematologii, Onkologii i Endokrynologii Dziecięcej UCK, u których wykonano zabieg założenia centralnego dostępu żylnego do naczyń podobojczykowych. Badania były prowadzone przez okres jednego roku – od 1 lipca 2011 do 30 czerwca 2012 roku. Oceniono grupę 63 dzieci, w tym 25 dziewczynek (39,7%) i 38 chłopców (60,3%), w wieku od 1 roku do 17 lat. Średnia wieku analizowanej grupy wyniosła 7,8 roku (odchylenie standardowe – 5,0 lat). Analizie poddano wyniki 115 badań USG wykonanych u tych pacjentów. Zabiegi zakładania cewników centralnych zostały przeprowadzone w dwóch ośrodkach: Uniwersyteckim Centrum Klinicznym i Pomorskim Centrum Traumatologii – Wojewódzkim Szpitalu Specjalistycznym im. Mikołaja Kopernika w Gdańsku przez doświadczonych anezjologów, w znieczuleniu ogólnym, z dostępu przezskórnego według markerów anatomicznych. U 40 dzieci (63,5%) zabiegi te wykonane zostały po wstępnej

Transthoracic lung ultrasound in the diagnosis of pneumothorax

A conventional chest X-ray, which in some cases is supplemented with computed tomography (chest CT), is a typical imaging examination used to confirm the diagnosis of pneumothorax. These diagnostic methods are used both in pediatrics as well as in adult patients and CT scan is commonly accepted as the gold standard in pneumothorax diagnosis. In the last years, the relevance of transthoracic lung ultrasound (TLUS) has increased. This primarily refers to adult patients in a life-threatening condition, patients with trauma to the chest and those who underwent diagnostic or therapeutic procedures within the thoracic cavity. This increased relevance is confirmed by the published opinion of a group of experts in ultrasound imaging (US) of the lungs in patients in a life-threatening condition, who strongly recommend TLUS for the diagnosis of pneumothorax in the aforementioned patient groups⁽⁴⁾. Moreover, in the metaanalysis of the published data concerning the diagnosis of pneumothorax with the use of TLUS, Ding et al. (2011) demonstrated great usefulness of this imaging modality by concluding that its sensitivity and specificity in adult patients is non-inferior to conventional chest X-ray⁽⁵⁾.

These data constituted the basis for initiating the prospective studies on the application of TLUS in the diagnostic process of pneumothorax in patients of pediatric hematology and oncology wards. The main cause of pneumothorax in this pediatric group is a complication resulting from the insertion of a central venous catheter to the subclavian vein. This group of patients was therefore enrolled into the prospective study. Another argument for initiating these studies was the lack of similar data concerning the pediatric population in available literature.

Material and methods

The prospective studies included a group of patients treated in the Clinic of Pediatrics, Pediatric Hematology, Oncology and Endocrinology of the Academic Clinical Centre (Medical University of Gdańsk, Poland) in whom a central venous catheter was placed in the subclavian vein. The studies were conducted for one year – from 1 July 2011 to 30 June 2012. The study population comprised 63 patients, including 25 girls (39.7%) and 38 boys (60.3%) aged from 1 to 17. The mean age in the examined group was 7.8 years (standard deviation – 5.0 years). The analysis included the results of 115 US examinations performed in these patients. The procedures of inserting central catheters were conducted in two centers: Academic Clinical Centre and Nicolaus Copernicus Pomeranian Trauma Centre of the Regional Specialized Hospital in Gdańsk (Poland). The procedures were performed by experienced anesthesiologists in a general anesthesia via the percutaneous access according to anatomic markers. In 40 children (63.5%), these procedures were conducted after an initial sonographic assessment of the thoracic vessels, which included anatomical

ultrasonograficznej ocenie naczyń klatki piersiowej, w której uwzględniano warunki anatomiczne, średnicę żył podobojczykowych i ramiennie-głowych oraz przepływ w tych naczyniach, badany w opcji dopplera kodowanego kolorem.

Diagnostyka radiologiczna

Zabiegi zakładania CDŻ były wykonywane w warunkach sali zabiegowej z możliwością monitorowania prawidłowości operacji i jej ewentualnych powikłań za pomocą „skopii” rentgenowskiej. Po wykonanym zabiegu położenie cewnika i obraz płuc dokumentowano klasycznym zdjęciem RTG klatki piersiowej w pozycji leżącej. Kolejne RTG klatki piersiowej wykonano tylko u tych pacjentów, u których w badaniu USG płuc rozpoznano odmę jamy opłucnej. Badania te były wykonywane przyłóżkowo lub w Zakładzie Radiologii Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, zgodnie z potrzebami klinicznymi i zasadami sztuki medycznej oraz w najlepiej pojętym interesie pacjenta, i wykorzystywane w dalszym postępowaniu terapeutycznym.

Diagnostyka ultrasonograficzna

Badanie USG płuc i naczyń żylnych wykonywano zgodnie z wcześniej ustalonym protokołem. Wszystkie wstępne badania USG 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) przeprowadzono w Pracowni Diagnostyki Ultrasonograficznej i Biopsyjnej Kliniki Pediatrii, Hematologii i Onkologii Dziecięcej Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego. Badania kontrolne po założeniu CDŻ były wykonywane przyłóżkowo lub w Pracowni Diagnostyki Ultrasonograficznej i Biopsyjnej Kliniki Pediatrii, Hematologii i Onkologii Dziecięcej Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego. Przyłóżkowo przeprowadzono 25/75 badań (33,3%). Wskazania do badań przyłóżkowych były ustalane każdorazowo przez lekarza bezpośrednio odpowiedzialnego za leczenie pacjenta. Badanie wykonywano w dniu zabiegu, w czasie od 1 do 2 godzin po jego zakończeniu, w przypadku gdy CDŻ był zakładany w Uniwersyteckim Centrum Klinicznym, lub bezpośrednio po powrocie dziecka z Centrum Traumatologii, następnego dnia po implantacji cewnika.

PBUP – technika badania

PBUP były wykonywane dwoma aparatami USG: 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 podczas badania były każdorazowo modyfikowane według aktualnych potrzeb. Wszystkie PBUP wykonywano zgodnie ze

conditions, diameter of the subclavian and brachiocephalic veins as well as blood flow in these vessels evaluated in color or power Doppler examinations.

Radiological diagnosis

The placement of a central venous catheter was performed in procedure rooms with the possibility to monitor the correctness of the procedure and its potential complications with the use of radioscopy. After the procedure, the placement of the catheter and the image of the lungs were documented in the form of a conventional chest X-ray performed in the supine position. Another chest X-ray was performed in those patients who, based on the lung US examination, were diagnosed with pneumothorax. These examinations were conducted at the patients' bedside or in the Department of Radiology of the Medical University of Gdańsk (Poland) depending on the clinical needs and in accordance with the principles of medical art, bearing in mind well-being of the patients. The examinations were used in further therapeutic procedures.

Ultrasound imaging

The US examination of the lungs and venous vessels was performed according to the previously prepared protocol. All initial transthoracic US examinations of the lungs as well as the assessment of the jugular and subclavian veins, which were performed prior to the placement of the central catheter (40/115 examinations which constitutes 34.8% of all scans), took place in the Laboratory of Ultrasound Imaging and the Clinic of Pediatric Biopsy, Hematology and Oncology at the Medical University of Gdańsk. Follow-up examinations after the placement of venous catheters were performed at the patients' bedside or in the Laboratory of Ultrasound Imaging and the Clinic of Pediatric Biopsy, Hematology and Oncology at the Medical University of Gdańsk. 25/75 scans (33.3%) were bedside examinations. The indications for such examinations were each time determined by the physician directly responsible for a given patient's treatment. The examinations were performed at the day of the procedure – within 1–2 hours after its conclusion if CVA was conducted in the Academic Clinical Centre, or directly after the patient's return from the Trauma Centre – on the next day following catheter placement.

TLUS – examination technique

TLUS examinations were performed with the use of two US systems: GE Logiq 7 (GE Medical Systems, Waukesha, WI, USA) and Philips iU 22 (Philips Medical Systems, Bothell, WA, USA) with convex probes with the frequency of 3.5–5.0 MHz and linear transducers with the frequency of 8.0–12.0 MHz. The preset settings, designed for abdominal examinations, were used and modified during each examination according to current needs. All TLUS examinations were performed in accordance with the

standardami Polskiego Towarzystwa Ultrasonograficznego, które zostały opracowane przez autora pracy⁽⁶⁾.

Każde badanie było dokumentowane w formie zapisu cyfrowego w standardowych formatach zapisu obrazu (w formacie WMV lub AVI). Ze względu na dynamiczny charakter większości ocenianych parametrów zdjęcie wydrukowane na papierze światłoczułym ma dla udokumentowania stwierdzanych zmian bardzo ograniczone znaczenie lub nie ma go w ogóle.

PBUP przeprowadzano w pozycji leżącej na plecach. Oceniano obraz płuc w dostępnych przestrzeniach międzyżebrowych na przednich i bocznych powierzchniach klatki piersiowej. Każdorazowo badanie wykonywano zarówno głowicą typu convex, jak i liniową, stosując ich przyłożenia podłużne i poprzeczne, wykorzystując przestrzenie międzyżebrowe jako okna akustyczne. Podczas każdego badania porównywano obraz USG płuc po obu stronach klatki piersiowej na tej samej wysokości przyłożenia głowicy. Oceny płuc i opłucnej w jednej przestrzeni międzyżebrowej dokonywano w okresie minimum trzech cykli oddechowych. Całkowity czas wykonania PBUP nie przekraczał 10 minut. Podobnie jak w diagnostyce za pomocą TK stosowano zasadę ALARA (*as low as reasonably achievable*).

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

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

Ultrasonograficzne kryteria wykluczające odmę jamy opłucnej

Za ultrasonograficzne kryteria wykluczające rozpoznanie odmy jamy opłucnej przyjęto:

- obecność objawu ślizgania linii opłucnej (*lung sliding*)⁽⁷⁾;
- obecność ultrasonograficznych artefaktów linii B⁽⁸⁾, obecność ultrasonograficznych artefaktów linii Z i artefaktów linii I (modyfikacja własna);
- stwierdzenie objawu określanego jako *lung pulse*⁽⁹⁾.

Ultrasonograficzne kryteria potwierdzające obecność odmy jamy opłucnej

Za ultrasonograficzne kryteria diagnostyczne potwierdzające rozpoznanie odmy jamy opłucnej przyjęto:

- obecność wzorca zmian określanego jako profil A' (*A prim*), zgodnie z kryteriami ustalonymi przez Daniela Lichtensteina w protokole diagnostycznym „BLUE protocol”⁽⁸⁾;

standards of the Polish Ultrasound Society, which had been created by the author of this paper⁽⁶⁾.

Each examination was documented in the digital form in standard formats (WMV or AVI). Due to the dynamic character of the majority of assessed parameters, a printed image would be of limited relevance, or completely irrelevant, for documenting the diagnosed changes.

TLUS examinations were performed with the patients in the supine position. The image of the lungs was assessed in the accessible intercostal spaces on the anterior and lateral surfaces of the thorax. Each examination was conducted with both convex and linear probes, placing them longitudinally and transversely and using the intercostal spaces as acoustic windows. During each examination, the US presentation of the lungs was compared to the image of the contralateral side of the chest with the transducer placed at the same level. The assessment of the lungs and pleura in one intercostal space was made during at least three respiratory cycles. The total duration of TLUS did not exceed 10 minutes. As with the CT diagnosis, the ALARA principle applied (as low as reasonably achievable).

TLUS – sonographic criteria and signs used in the diagnosis of pneumothorax

The images obtained during the examinations were analyzed in terms of the presence of the sonographic criteria that either confirm or rule out pneumothorax. In this study, the criteria used for adult patients were applied with certain modifications for pediatric patients, which are discussed below.

Sonographic criteria to rule out pneumothorax

The sonographic criteria based on which pneumothorax was ruled out included:

- presence of pleural line slide (*lung sliding sign*)⁽⁷⁾;
- presence of B-line sonographic artefacts⁽⁸⁾, presence of Z-line and I-line sonographic artefacts (author's own modification);
- detection of the sign referred to as *lung pulse*⁽⁹⁾.

Sonographic criteria to confirm pneumothorax

The sonographic criteria based on which pneumothorax was confirmed included:

- presence of changes referred to as A'-profile (*A prime*) according to the criteria created by Daniel Lichtenstein in the diagnostic “BLUE protocol”⁽⁸⁾;
- detection of the sign referred to as *lung point*⁽¹⁰⁾;
- detection of the sign referred to as *double lung point*⁽¹¹⁾.

- stwierdzenie objawu określanego jako *lung point*⁽¹⁰⁾;
- stwierdzenie objawu określanego jako *double lung point*⁽¹¹⁾.

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

- Objaw ślizgania linii opłucnej (*lung sliding*)

Jest to ultrasonograficzny artefakt dynamiczny, powstający na tzw. linii opłucnej (*pleural 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 hiperechogeniczna 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⁽⁷⁾. 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⁽¹²⁾. Dokumentacja fotograficzna objawu ślizgania opłucnej na papierze światłoczułym powinna być dokonana za pomocą obrazowania w opcji M-mode⁽¹³⁾.

- Obecność ultrasonograficznych artefaktów linii B, linii Z i linii I

Grupa artefaktów ultrasonograficznych obserwowanych w PBUP powstaje na linii opłucnej, można je więc uwidocznić tylko wówczas, gdy widoczna jest ta linia. W przypadku odmy jamy opłucnej linia opłucnej nie jest widoczna i artefaktów tych nie obserwujemy. Artefakty linii B to pionowe, hiperechogeniczne 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). Pomimo nie do końca wyjaśnionej ich etiopatogenezy większość autorów uznaje je za artefakty rewerberacji⁽¹⁴⁻¹⁶⁾. Artefakty linii Z mają bardzo podobny obraz do artefaktów linii B. Uważa się, że mają charakter ogona komety; widoczne są jako pionowe, hiperechogeniczne 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. W przeciwieństwie do artefaktów linii B „nie wymazują” artefaktów linii A przy obrazowaniu głowicą typu convex lub sektorową. Znaczenie praktyczne obecności tego artefaktu nie zostało jednoznacznie ustalone, lecz w pierwotnych założeniach określono go ostatnią literą alfabetu, sugerując brak znaczenia klinicznego⁽¹⁵⁾. Mechanizm powstawania tych artefaktów nie został w pełni wyjaśniony. Artefakty linii I, podobnie jak dwa powyższe, są artefaktami ogona komety, powstają na linii opłucnej, mają około 1-3 cm długości i nie wymazują artefaktów linii A przy obrazowaniu głowicą convex lub sektorową. Obecnie uważa się, że nie mają one znaczenia diagnostycznego⁽¹³⁾.

The sonographic criteria and signs used for pneumothorax diagnosis are defined in the following way:

- Lung sliding sign

It is a dynamic ultrasound artefact that appears on a so-called pleural line which physiologically consists of the parietal pleura, pulmonary pleura and a slight amount of fluid between these membranes. The pleural line is visible on the ultrasound monitor as a strongly hyperechoic line which moves upwards and downwards as the air volume in the lungs changes. The movement of this hyperechoic line is referred to as the lung sliding sign. Due to its dynamic character, the real-time assessment is necessary⁽⁷⁾. If it is difficult to visualize the sliding pleural line, power/color Doppler sign is used which appears during the examination of the pleural line in power or color Doppler modes⁽¹²⁾. The printed documentation of the lung sliding sign should be performed in the M-mode option⁽¹³⁾.

- Presence of the B-line, Z-line and I-line sonographic artefacts

This group of artefacts observed in TLUS appears on the pleural line. Thus, these artefacts may be visualized only if the line itself is visible. In pneumothorax, the pleural line is not visible and these artefacts are not present either. The B-line artefacts are vertical hyperechoic lines which appear on the pleural line, spread along the entire length of the monitor and move clockwise together with the movements of the pulmonary pleura. It is believed that these artefacts are generated by the slight amount of fluid under the pulmonary pleura, usually in the interlobular septa (air-water artefact). Despite not entirely explained etiopathogenesis, the majority of authors consider them reverberation artefacts⁽¹⁴⁻¹⁶⁾. The Z-line artefacts are very similar to the B-line ones. It is claimed that they resemble a comet tail; they are observed as vertical, hyperechoic lines which begin on the pleural line. The difference from the B-line artefacts lies in their length – the Z-line artefacts end at approximately 1/3-1/2 of the monitor's length and do not reach its edges. By contrast with the B-line artefacts, they do not “erase” the A-line artefacts when visualized with the use of convex or sector transducers. The practical relevance of these artefacts has not been unequivocally determined but they were initially named with the last letter of the alphabet, thus suggesting clinical irrelevance⁽¹⁵⁾. The manner of their formation has not been sufficiently explained. As with the two types of artefacts mentioned above, the I-line artefacts are comet tail artefacts. They appear on the pleural line, have 1-3 cm in length and do not erase A-line artefacts when convex or sector transducers are used. They are currently believed to be diagnostically irrelevant⁽¹³⁾.

Despite the fact that only the B-line artefacts are unequivocally relevant in the diagnosis of adult patients, the sole existence of the Z-line and I-line artefacts appears to be a justifiable argument for their usage in pneumothorax diagnosis. Another reason for using these two

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 wystarczającym argumentem za wykorzystaniem ich także w diagnostyce odmy jamy opłucnej. Kolejnym powodem korzystania w badaniach pediatrycznych z obu tych artefaktów jest fakt, że badania te znacznie częściej niż u dorosłych wykonywane są z zastosowaniem głowic liniowych o wysokiej częstotliwości (10–15 MHz). Otrzymujemy wówczas dokładniejszy obraz linii opłucnej i oba te artefakty są znacznie częściej i lepiej widoczne niż w obrazowaniu głowicami convex czy sektorową. Dlatego obecność tych artefaktów lub ich brak zaliczono do kryteriów diagnostycznych odmy jamy opłucnej (modyfikacja własna).

- *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 ze 100-procentową pewnością wyklucza odmy jamy opłucnej⁽⁹⁾.

- Stwierdzenie wzorca zmian określanych jako profil A'

Odpowiada on obecności powietrza w jamie opłucnej. Charakteryzuje się występowaniem tylko artefaktów linii A przy jednoczesnym braku objawu ślizgania linii opłucnej. Różni się od profilu A (określającego prawidłowy obraz płuc) brakiem objawu ślizgania opłucnej. Artefakty linii A – poziome, miernie hiperechogeniczne linie, równoległe do linii opłucnej, powtarzające się w tej samej odległości od siebie do granicy ekranu – w warunkach prawidłowych powstają na linii opłucnej. Są artefaktami rewerberacji, pojawiającymi się jako efekt wielokrotnego odbicia się fali ultradźwiękowej na granicy pomiędzy powietrzem w pęcherzykach płucnych pod opłucną płucną a ścianą klatki piersiowej⁽¹⁷⁾. W przypadku odmy jamy opłucnej istota powstawania artefaktów linii A jest dokładnie taka sama, inna jest natomiast granica, na której się pojawiają – stanowią ją opłuczna ścienna i powietrze w jamie opłucnej. Artefakty linii A, będąc podstawowymi artefaktami prawidłowego obrazu płuc w PBUP, paradoksalnie są jednocześnie jednym z głównych 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 oraz brak objawu ślizgania opłucnej, potwierdza rozpoznanie odmy jamy opłucnej⁽¹⁸⁾.

- *Lung point*

Określa się tak objaw ultrasonograficzny wyznaczający granicę pomiędzy komorą odnową a prawidłowo powietrznym płucem⁽¹⁰⁾. Jest on 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 objawu ślizgania opłucnej).

types of artefacts in pediatric examinations is the fact that, when compared to adults, examinations of children are more frequently performed with the use of linear high-frequency probes (10–15 MHz). This way, we obtain a more accurate image of the pleura and these artefacts are observed more frequently and are more clearly visible than in imaging with convex or sector probes. Therefore, the presence or absence of these artefacts was included in the diagnostic criteria of pneumothorax (the author's own modification).

- Lung pulse

This term denotes a dynamic sonographic sign which is the effect of the transmission of the heart beat to the pleural line by the pulmonary consolidation area adjacent to the pericardium. The presence of this sign definitively rules out pneumothorax⁽⁹⁾.

- Detection of changes referred to as A'-profile

This sign corresponds to the presence of air in the pleural cavity. It is characterized by the presence of the A-line artefacts only, and the absence of the pleural line sliding. It differs from the A-profile (reflecting normal lung presentation) in the lack of the lung sliding sign. In normal conditions, the A-line artefacts – horizontal, averagely hyperechoic lines, parallel to the pleural line and repeatable in the same distance within the edges of the monitor – appear on the pleural line. They are reverberation artefacts and result from multiple reflections of the ultrasound wave on the border between air in the alveoli located under the pulmonary pleura and the chest wall⁽¹⁷⁾. In the case of pneumothorax, the manner of A-line artefact formation is precisely the same but the border on which they appear is different – it is the parietal pleura and air in the pleural cavity. Being the basic artefacts of the normal lung image in TLUS, paradoxically, the A-line artefacts also constitute one of the prime signs of pneumothorax. The visualization of the profile which is characterized by the presence of the A-line artefacts, the absence of B-line, Z-line and I-line artefacts as well as no lung sliding sign confirms the diagnosis of pneumothorax⁽¹⁸⁾.

- Lung point

This term denotes a sonographic sign which marks the border between the pneumothorax and normally aerated lung⁽¹⁰⁾. It is the effect of the collapsed lung moving closer to the chest wall due to a slight increase of its volume on inspiration. In such a situation, the monitor shows a border between the normal lung image (A-profile) and the area referred to as the A'-profile (only the A-line artefacts are visible without the sign of lung sliding).

The visualization of the lung point is also possible in the M-mode examination. In this case, two bordering sonographic signs may be observed: the seashore sign, as the normal lung image, and the stratosphere sign which confirms pneumothorax⁽¹⁹⁾. The seashore sign is characterized

Uwidocznienie *lung point* możliwe jest również w opcji M-mode; stwierdza się wówczas dwa graniczące ze sobą objawy ultrasonograficzne: objaw brzegu morskiego (*seashore sign*), jako prawidłowy obraz płuca, oraz objaw kodu paskowego (*stratosphere sign*), potwierdzający obecność odmy jamy opłucnej⁽¹⁹⁾. *Seashore sign* charakteryzuje się brakiem ruchu powyżej linii opłucnej, pod postacią kilku równolegle układających się poziomych linii i jednorodnie ziarnistego wzorca odbić poniżej tej linii, będących efektem przemieszczania się struktur położonych poniżej linii opłucnej zgodnie z akcją oddechową. Na *stratosphere sign* („objaw stratosfery” lub „objaw kodu paskowego”) 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.

- Double lung point

Podobnie jak *lung point* objaw ten wyznacza granicę pomiędzy komorą odmową a prawidłowo powietrznym płucem, lecz obserwowany jest wyłącznie przy małych rozmiarach komory odmowej⁽¹¹⁾. Najlepiej widoczny jest z poprzecznego przyłożenia głowicy liniowej. Na obserwowany obraz składa się centralnie umiejscowiony obszar zmian o profilu A', a po obu jego stronach widoczny jest *lung point* (obserwacje własne autora).

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 wielkość odmy. Uważa się, że jeżeli stwierdza się jego obecność 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 diagnozuje się odmę dużą⁽²⁰⁾. nierozwiązaną 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⁽⁴⁾.

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 McNemara. Ze względu na małą liczebność wyników dodatnich użyto formy dokładnej (*exact*) tego testu. Oceniono zgodność wyników uzyskanych przy pomocy badanych metod diagnostycznych oraz obliczono współczynnik zgodności kappa według Cohena. Wartość tego współczynnika 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

by the lack of movement above the pleural line in the form of several parallel, horizontal lines and a homogeneous granular pattern of reflections which appears below the pleural line as a result of the movement of structures located below the pleural line according to the breathing cycle. The stratosphere sign (or “barcode sign”) consists of numerous horizontal lines with invisible pleural line. It is detected when the lung sliding sign is negative and corresponds to a complete absence of the pleural movement in the examined region.

- Double lung point

As with the lung point, the double lung point marks the border between pneumothorax and normally aerated lung but it is observed only when pneumothorax is of a small size⁽¹¹⁾. It is best visible with a transverse placement of a linear probe. The image consists of a centrally located A-profile area and the lung point that is visible on its both sides (author's own observations).

Assessment of the size of pneumothorax in TLUS

In order to assess the size of pneumothorax, the author of this study used generally accepted principles which had been created for adult patients. The marker which allows for the determination of the size of pneumothorax is the lung point. Depending on its localization in the chest, it is possible to roughly estimate the size of pneumothorax. It is believed that if its presence is detected on the anterior chest wall, pneumothorax is small. The localization of the lung point on the lateral chest wall up to the level of the midaxillary line suggests the diagnosis of moderate pneumothorax. If, however, it is located below this line, substantial pneumothorax is identified⁽²⁰⁾. The impossibility to visualize the lung point remains an unsolved issue. In such situations in adult patients, further diagnosis with chest CT is necessary⁽⁴⁾.

Statistical analysis

The author prepared standard descriptive statistics of the analyzed parameters. In order to compare the diagnostic value of the tested methods, the sensitivity, specificity, positive and predictive values as well as McNemar's Chi-square value were calculated. Due to a low number of positive results, the exact form of the test was used. The agreement of results obtained by means of the two studied diagnostic methods was assessed and Cohen's kappa coefficient was calculated. The value of this coefficient was interpreted according to Landis and Koch's classification, i.e. the values <0 denote the lack of agreement, 0–0.20 indicate slight agreement, 0.21–0.40 – fair agreement, 0.41–0.60 – moderate agreement, 0.61–0.80 – substantial agreement and 0.81–1 – almost perfect agreement. The assumed level of statistical significance equaled $\alpha = 0.05$. The statistical analysis was conducted with the use of Stata 12 statistical system by StataCorp LP (USA, 2011).

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 za pomocą pakietu statystycznego Stata 12 firmy StataCorp LP (USA, 2011).

Wyniki

W analizowanej grupie pacjentów z rozpoznaniem lub podejrzeniem choroby nowotworowej jatrogenną odmę jamy opłucnej zdiagnozowano u 4 spośród 63 pacjentów (6,3%). We wszystkich przypadkach była ona konsekwencją procedur związanych z zakładaniem cewnika centralnego. Szczegółowe dane zestawiono w tab. 1.

U 3 pacjentów ($N = 63$) PBUP było pierwszym badaniem obrazowym, w którym rozpoznano odmę jamy opłucnej, a w jednym przypadku stanowiło kolejne badanie obrazowe, w którym potwierdzono obecność odmy po wcześniej wykonanej TK klatki piersiowej. U tego chorego diagnozę na podstawie PBUP postawiono przed otrzymaniem wyniku badania TK przez lekarza leczącego. W grupie pacjentów, u których podczas PBUP rozpoznano odmę jamy opłucnej, w 2 przypadkach potwierdzono jej obecność badaniem RTG klatki piersiowej i 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 USG płuc stwierdzono w czwartej dobie obserwacji. W tab. 2 zestawiono wyniki badań PBUP z wynikami badań RTG płuc.

W jednym przypadku PBUP zostało wykonane przyłóżkowo (pacjent nr 1), a w 3 odbyło się w pracowni USG. Odstęp czasowy pomiędzy przeprowadzeniem badania PBUP a zakończeniem procedur związanych z zakładaniem CDŻ wynosił 1–2 godziny u pacjentów zaopatrywanych w UCK. U 2 pacjentów, u których CDŻ zakładano w Centrum Traumatologii, czas ten wynosił 30 i 36 godzin. Średni czas, w którym ustalono

Pacjent <i>Patient</i>	Płeć <i>Gender</i>	Wiek (lata) <i>Age (years)</i>	Rozpoznanie <i>Diagnosis</i>	Strona <i>Side</i>
1	M	15	ALL	Prawa <i>Right</i>
2	Ż	6	DRESS	Lewa <i>Left</i>
3	M	9	ALL/BMT	Lewa <i>Left</i>
4	M	10	ALL	Lewa <i>Left</i>

ALL – ostra białaczka limfoblastyczna; **BMT** – przeszczepienie szpiku kostnego; **DRESS** – reakcja na lek (lub wysypka) z eozynofilią i objawami ogólnoustrojowymi.
ALL – acute lymphoblastic leukemia; **BMT** – bone marrow transplantation; **DRESS** – drug reaction (or skin rash) with eosinophilia and systemic symptoms.

Tab. 1. Charakterystyka pacjentów z rozpoznaniem jatrogennej odmy jamy opłucnej

Tab. 1. Characteristics of patients with diagnosed iatrogenic pneumothorax

Results

In the analyzed group with suspected or diagnosed neoplasm, iatrogenic pneumothorax was identified in 4 out of 63 patients (6.3%). In all cases, it was a consequence of procedures connected with the insertion of a central venous catheter. The detailed data are listed in tab. 1.

In 3 patients ($N = 63$), TLUS was the first imaging examination in which pneumothorax was diagnosed and in one case, it was a subsequent imaging examination which confirmed the presence of pneumothorax following a previously conducted chest CT. In this patient, the diagnosis on the basis of TLUS was established before the attending physician obtained the CT results. Among the patients with TLUS-based diagnosis of pneumothorax, in 2 cases, its presence was confirmed by chest X-ray and a chest drain was conducted. In one case (patient 2), chest X-ray was not performed due to the small size of pneumothorax which was monitored by TLUS only. The normal lung image was observed on the fourth day of monitoring. Table 2 presents the comparison of US- and X-ray-based lung examinations.

In one case, TLUS was a bedside examination (patient 1) and in 3 cases, it took place in the US laboratory. The time interval between the TLUS examination and the conclusion of the procedures connected with central catheter insertion equaled 1–2 hours in patients who remained at the Academic Clinical Centre. In 2 patients who had central venous access performed in the Trauma Centre the time interval was 30 and 36 hours. The mean time within which pneumothorax was diagnosed by means of TLUS was analyzed on the basis of the examination sequence stored on the hard disk of the US system. The time that lapsed from the first recorded sequence to the moment at which sonographic signs typical of pneumothorax appeared on the monitor was analyzed. It did not exceed 25 seconds in the study population. The total duration of the TLUS examination in the group of patients with

Metoda badania <i>Method</i>	Odma jamy opłucnej <i>Pneumothorax</i>	Norma <i>Normal image</i>
PBUP wykonane po implantacji CDŻ <i>TLUS performed after central catheter implantation</i>	4/63	59/63
RTG klatki piersiowej wykonane po implantacji CDŻ <i>Chest X-ray performed after central catheter implantation</i>	1/63	62/63
RTG klatki piersiowej wykonane po PBUP, w którym rozpoznano odmę jamy opłucnej <i>Chest X-ray performed after TLUS examination during which pneumothorax was diagnosed</i>	2/2	0/2

Tab. 2. Porównanie wyników PBUP z wynikami RTG klatki piersiowej

Tab. 2. Comparison of TLUS and X-ray results

rozpoznanie odmy jamy opłucnej za pomocą PBUP, analizowano na podstawie sekwencji badań nagranych na dysku twardym aparatu USG. Oceniano czas od pierwszej nagranej sekwencji do momentu uwidocznienia objawów ultrasonograficznych typowych dla odmy jamy opłucnej. W badanej grupie nie przekraczał on 25 sekund. Całkowity czas wykonania PBUP w grupie chorych z rozpoznaniem jatrogennej odmy jamy opłucnej analizowany od pierwszej do ostatniej nagranej sekwencji nie przekraczał 3 minut. Obraz USG stwierdzanych zmian w kontekście ultrasonograficznych kryteriów rozpoznania odmy jamy opłucnej zestawiono w tab. 3.

W analizowanej grupie pacjentów z rozpoznaniem jatrogennej odmy jamy opłucnej w PBUP uwidoczniono wszystkie typowe kryteria potwierdzające obecność odmy jamy opłucnej: brak objawu ślizgania opłucnej, profil zmian określany jako profil *A* i *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 2 chorych (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 były obserwowane po stronie wykonywania procedur związanych z CDŻ. U jednego pacjenta dotyczyły one strony prawej, a u 3 – strony lewej, nie uwidoczniono jednak różnicy w obserwowanych kryteriach diagnostycznych. W grupie pacjentów, u których obraz płuc w PBUP oceniono jako prawidłowy, nie zaobserwowano żadnego kryterium potwierdzającego obecność odmy jamy opłucnej, obecne zaś były wszystkie kryteria uznane za wykluczające odmę jamy opłucnej.

Analiza statystyczna – wyniki

Metodami statystycznymi oceniono wartość diagnostyczną PBUP oraz RTG klatki piersiowej w analizowanej grupie – wyniki przedstawia tab. 4.

W przebadanym materiale czułość, specyficzność oraz wartości predykcyjne (dodatnia i ujemna) dla badania PBUP wyniosły 100%. Szerokość 95-procentowego przedziału ufności dla specyficzności oraz wartości predykcyjnej ujemnej była akceptowalna. Bardzo szeroki był natomiast zakres wartości stanowiących 95-procentowy 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 predykcyjne wyników ujemnych. Szerokość 95-procentowych przedziałów ufności była akceptowalna. Czუłość wyniosła 25%, zaś dodatnia wartość predykcyjna 100%. Analogicznie jak dla PBUP szerokość 95-procentowych 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

diagnosed iatrogenic pneumothorax, analyzed from the first to the last sequence, did not exceed 3 minutes. The US presentation of detected changes in the context of the US diagnostic criteria for pneumothorax is presented in tab. 3.

In the study population with iatrogenic pneumothorax diagnosed by means of TLUS, all typical criteria confirming pneumothorax were observed: the lack of lung sliding sign, changes referred to as *A*-profile and the lung point. Based on the localisation of the last above-mentioned criterion, the presence of large pneumothorax was suggested in 2 patients and required interventional treatment (patient 1 and patient 3). In further two cases (patient 2 and patient 4), slight pneumothorax was diagnosed – limited to the anterior aspect of the chest with a visible double lung point. These lesions were observed on the side at which the CVA procedures were conducted. In one patient, it was the right side and in 3 – the left side. Nevertheless, no differences in the observed diagnostic criteria were found. In the group of patients with the normal lung image in TLUS, none of the criteria confirming pneumothorax were observed whereas all criteria that ruled out pneumothorax were present.

Statistical analysis – results

Statistical methods were used to assess the diagnostic value of TLUS and chest X-ray in the analyzed group – the results are presented in tab. 4.

In the studied material, the sensitivity, specificity and predictive values (positive and negative) for the TLUS examination equaled 100%. The width of the 95% confidence interval for specificity and negative predictive value was acceptable. However, the range of 95% confidence interval for sensitivity and positive predictive value was very wide. This results from a relatively low number of instances of pneumothorax in the study population.

As for the X-ray examination, comparable or slightly lower specificity and negative predictive values were observed. The width of the 95% confidence interval was acceptable. The sensitivity equaled 25% and positive predictive value – 100%. As with the TLUS, the width of the 95% confidence interval for the sensitivity and positive predictive value was too large to enable precise estimation of their value in the population and allow for their comparison in both methods.

Despite a considerable difference in sensitivity (100% for TLUS and 25% for X-ray), the result of McNemar's test, for which p value = 0.250 (tab. 5), does not allow to claim that one method is superior to the other. However, it should be borne in mind that due to a low number of positive results, there is a risk of making a type II error.

The agreement of the diagnoses and the value of kappa coefficient for both tested methods are presented in tab. 5. The agreement of the diagnoses in the study population

$p = 0,250$ (tab. 5), nie daje podstawy do uznania przewagi jednej metody nad drugą. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że ze względu na małą liczebność wyników dodatnich istnieje ryzyko popełnienia błędu statystycznego drugiego rodzaju.

Zgodność rozpoznań oraz wartość współczynnika zgodności kappa dla obu ocenianych metod diagnostycznych przedstawia tab. 5. Obserwowana w badanym materiale zgodność rozpoznania wyniosła 95,2%. Jednak z uwagi na to, że częstość występowania wyników pozytywnych jest niska, oczekiwana zgodność powinna wynosić 92,3%. Stąd wynika niska wartość współczynnika zgodności kappa (0,38), który jest skorygowaną, bardziej wiarygodną miarą zgodności rozpoznań ustalanych za pomocą porównywanych metod diagnostycznych.

Omówienie

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 stetoskopu, Laenneca⁽²¹⁾, który w 1819 roku opisał objawy kliniczne odmy jamy opłucnej⁽²²⁾. Do dziś nie straciły one swojej aktualności i nadal stanowią podstawę badania podmiotowego i przedmiotowego w diagnostyce tej jednostki chorobowej. Pomimo dobrze znanych objawów klinicznych odmy jamy opłucnej i uwzględniania jej w diagnostyce różnicowej u dziecka z dusznością

equaled 95.2%. However, due to the low number of positive results, the anticipated agreement should equal 92.3%. This is the reason for a low kappa coefficient (0.38) which is a corrected and more reliable measure of agreement of the diagnoses established with the use of the compared diagnostic methods.

Discussion

The first physician who proposed the term *pneumothorax* for the presence of air in the pleural cavity was Itard. It took place in 1803 when he was a student of Laennec, the inventor of the stethoscope⁽²¹⁾, who described the clinical symptoms of pneumothorax in 1819⁽²²⁾. As of today, they are still valid and still constitute the basis for interview and physical examination in the course diagnosing this pathology. Despite well-known clinical symptoms of pneumothorax and its inclusion in a differential diagnosis in pediatric patients with dyspnea, the detection of such changes in children frequently surprises clinicians. This confirms the thesis that pneumothorax is diagnosed much more frequently in adults than in the pediatric population. The difference in the incidence of spontaneous pneumothorax between these age groups is substantial. Despite the availability of only scarce publications concerning the epidemiology of this disease entity in the pediatric population, the data from American centers allow for a conclusion

	N – liczba przypadków N – number of cases	
	Pacjenci z obrazem prawidłowym Patients with normal image	Pacjenci z odmą jamy opłucnej Patients with pneumothorax
Objaw ślizgania linii opłucnej Lung sliding sign	59	0
Artefakt linii B B-line artefact	5	0
Artefakt linii Z lub I Z-line or I-line artefacts	59	0
Profil A' A'-profile	0	4
Lung point Lung point	0	2
Double lung point Double lung point	0	2
Lung pulse Lung pulse	0	0

Tab. 3. Porównanie obrazu prawidłowego i odmy jamy opłucnej w analizowanej grupie pacjentów, z uwzględnieniem objawów i artefaktów ultrasonograficznych potwierdzających i wykluczających rozpoznanie odmy jamy opłucnej

Tab. 3. Comparison of the normal image and pneumothorax in the study population, including sonographic signs and artefacts that confirm or rule out pneumothorax

	PBUP TLUS	RTG X-ray
Czułość Sensitivity	100% (39,8–100)	25% (0,6–80,6)
Specyficzność Specificity	100% (93,9–100)	100% (93,9–100)
Wartość predykcyjna dodatnia Positive predictive value	100% (39,8–100)	100% (2,5–100)
Wartość predykcyjna ujemna Negative predictive value	100% (93,9–100)	92,5% (86,5–99)

Tab. 4. Ocena wartości diagnostycznej PBUP oraz RTG (liczby w nawiasach oznaczają 95-procentowy przedział ufności)

Tab. 4. Diagnostic value of TLUS and X-ray (values in the parentheses refer to the 95% confidence interval)

	PBUP vs RTG TLUS vs. X-ray
Test McNemara (dokładny) McNemar's test (exact)	$p = 0,250$
Zgodność obserwowana Observed agreement	95,2%
Zgodność oczekiwana Anticipated agreement	92,3%
Kappa według Cohena Cohen's kappa coefficient	0,38 (0,19–0,58)

Tab. 5. Statystyczna ocena zgodności wyników PBUP oraz RTG (w nawiasie 95-procentowy przedział ufności)

Tab. 5. Statistical assessment of the agreement of TLUS and X-ray results (95% confidence interval is provided in the parentheses)

rozpoznanie u niego tych zmian często zaskakuje klinicystów. Potwierdza to tezę, że 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; mimo że dostępne są tylko pojedyncze publikacje dotyczące epidemiologii tego schorzenia 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^(23,24).

„Złotym standardem” diagnostyki obrazowej odmy jamy opłucnej jest badanie klatki piersiowej za pomocą TK, a w codziennej praktyce pierwszym wykonywanym badaniem obrazowym jest klasyczne badanie RTG 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 TK, istnieje potrzeba rozwijania dodatkowej metody diagnostycznej, jaką jest przezklatkowe badanie USG płuc. Wydaje się, że odpowiedź na tak postawione pytanie jest bardzo prosta. Jednak jeżeli w analizie częstości występowania odmy jamy opłucnej uwzględnia się tylko jej jatrogenne postaci oraz przypadki rozpoznawane na oddziałach intensywnej terapii, to częstość jej występowania w populacji pediatrycznej i dorosłej będzie się kształtowała 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 0,48/1000 pacjentów w wieku 0–17 lat i 0,43/1000 pacjentów w wieku 18–64 lat⁽¹⁾.

Podobna sytuacja występuje w przypadku pacjentów na oddziałach intensywnej terapii, u których częstość rozpoznawania odmy jamy opłucnej wynosi około 3–4%^(25,26) i jest zbliżona w obu populacjach, przy uwzględnieniu grupy noworodków w populacji pediatrycznej⁽²⁷⁾. Biorąc pod uwagę te dane epidemiologiczne, należy stwierdzić, że przy tak małej liczbie przypadków rozpoznanej odmy jamy opłucnej w ogólnej populacji pediatrycznej wprowadzanie nowej techniki obrazowej nie ma większego uzasadnienia. Jeżeli jednak 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, a także grupę dzieci po zabiegach interwencyjnych w obrębie klatki piersiowej, to wydaje się, że do codziennej praktyki powinno się wprowadzić metodę diagnostyczną, która pozwala w sposób bezpieczny, szybki i skuteczny rozpoznać odmę jamy opłucnej.

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 w rozpoznawaniu odmy jamy opłucnej⁽²⁸⁾, wykorzystując doświadczenia Rantanena, który rok wcześniej przedstawił obraz USG odmy jamy opłucnej u koni⁽²⁹⁾. Do pierwszych publikacji Lichtensteina z drugiej połowy lat 90. XX wieku ocena USG odmy jamy opłucnej praktycznie

that in the adult population, the incidence of pneumothorax is approximately 100 times greater than in pediatric population^(23,24).

The “gold standard” in medical imaging of pneumothorax is chest CT and in daily practice, the first imaging examination is a conventional chest X-ray.

A question needs to be asked whether the development of a new diagnostic method, i.e. transthoracic lung ultrasound, is necessary in the situation when the estimated incidence of pneumothorax in the pediatric population is so low, the X-ray examination is so commonly accessible and, additionally, when CT is becoming more and more commonly accessible. The answer to this question appears to be very easy. However, when only iatrogenic forms of pneumothorax and cases diagnosed in intensive care units are taken into account in the incidence analysis, the frequency with which pneumothorax occurs in the pediatric and adult populations will be completely different than in the general incidence of this disease. It occurs that the incidence of iatrogenic pneumothorax in both these populations is similar and estimated at 0.48/1000 patients aged 0–17 and 0.43/1000 patients aged 18–64⁽¹⁾.

The same refers to patients in intensive care wards, in whom the incidence of pneumothorax equals 3–4%^(25,26) and is similar in both populations when the pediatric population includes the group of neonates⁽²⁷⁾. Taking these epidemiological data into account, it should be stated that with such a small number of the instances of pneumothorax in the general pediatric population, the introduction of a new imaging technique is groundless. However, taking into consideration patients in pediatric intensive care units or pediatric wards of similar profiles, the transportation of whom for the X-ray examination may be prevented for numerous reasons, as well as a group of pediatric patients after interventional procedures within the chest, the introduction of a method which allows for a safe, fast and effective diagnosis of pneumothorax in daily practice appears to be necessary.

The application of ultrasounds in pneumothorax diagnosis is not a new idea. The first publication connected with their usage in humans was published 25 years ago when Wernecke *et al.* described the basic criteria for the diagnosis of pneumothorax⁽²⁸⁾ based on a previous experiment of Rantanen who, a year before, had presented the US image of equine pneumothorax⁽²⁹⁾. The ultrasound assessment of pneumothorax was practically not conducted until the second half of the 1990s when the first Lichtenstein's publications appeared. Not only did his papers systematize the sonographic signs and artefacts, which are currently used as the basis for pneumothorax US diagnosis, but also greatly influenced the development of lung sonography in patients in a life-threatening condition. Earlier than that – in 1990, Targhetta *et al.* were the first authors to describe the US presentation of pneumothorax in a group of 28 patients and compared it with a control group of 100 patients⁽³⁰⁾. Moreover, in 1992, they

nie była przeprowadzana. Jego prace nie tylko usystematyzowały objawy i artefakty ultrasonograficzne, które obecnie stanowią podstawę diagnostyki USG odmy jamy opłucnej, lecz także miały duży wpływ na rozwój badań USG płuc u pacjentów w stanach zagrożenia życia. Jeszcze wcześniej, bo w 1990 roku, Targhetta i wsp. jako pierwsi opisali obraz USG odmy jamy opłucnej w grupie 28 chorych i porównali go ze 100-osobową grupą kontrolną⁽³⁰⁾, 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⁽³¹⁾.

O ile obecnie zagadnienie to wraz z możliwością monitorowania zabiegu biopsji płuca za pomocą PBUP jest stosunkowo szeroko omówione w piśmiennictwie, o tyle dostępne są tylko pojedyncze publikacje dotyczące możliwości wykorzystania PBUP w diagnostyce powikłań płucnych po zabiegu założenia CDŻ^(32,33). W 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 jedynie 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 wyniosły 100%. Takie same wyniki przedstawiają Kreuter i wsp. w stosunku do pacjentów dorosłych⁽³³⁾. 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 objęma technikami miała wpływ na otrzymane wyniki, a byłyby one porównywalne, gdyby badanie RTG zostało przeprowadzone ponownie po 1–2 godzinach od zabiegu. Większość przypadków odmy jamy opłucnej po procedurach zabiegowych ujawnia się bowiem w ciągu pierwszych 3 godzin po ich zakończeniu. Prawdopodobnie z tego powodu u 3 badanych pacjentów obraz RTG płuc bezpośrednio po zabiegu oceniono jako prawidłowy, pomimo że 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. Tutaj wpływ na wynik badania radiologicznego miała prawdopodobnie pozycja leżąca dziecka na plecach podczas ekspozycji. RTG wykonane w takim ułożeniu pacjenta ma istotny wpływ na możliwość uwidocznienia małej komory odmowej⁽³⁴⁾. Dodatkowo należy podkreślić, że zgodnie z danymi innych autorów podczas badania RTG klatki piersiowej część przypadków odmy jamy opłucnej pozostaje nierozpoznana w tej technice obrazowania niezależnie od pozycji pacjenta^(35,36).

W prezentowanych 4 przypadkach jatrogennej odmy jamy opłucnej rozpoznanej badaniem ultrasonograficznym jej rozmiar oceniono prawidłowo na podstawie lokalizacji *lung point*. W 3 przypadkach odpowiadał on rozmiarowi odmy opłucnowej w badaniach radiologicznych: w badaniu RTG (2 przypadki) i w badaniu TK (1 przypadek). W jednym

were the first to suggest that TLUS should be used for diagnosing iatrogenic pneumothorax in patients directly after an aspiration biopsy of a pulmonary lesion⁽³¹⁾.

At present, the issue of lung biopsies with ultrasound-guidance of the procedure is relatively widely discussed in the literature, but still, only single publications refer to the usage of TLUS for diagnosing the pulmonary consequences of CVA procedures^(32,33). In two most frequently quoted publications, the number of cases of iatrogenic pneumothorax following central catheter placement in the subclavian veins, which are diagnosed by means of TLUS, is very low and equals merely 37 cases (Maury – 1 patient, Kreuter – 36 patients). In the available literature, no publication was found concerning the application of TLUS in the diagnosis of pulmonary complications after central catheter implantation in pediatric patients.

In the presented group of patients, the sensitivity and specificity of TLUS in the diagnosis of pulmonary complications of the CVA procedure equaled 100%. Kreuter *et al.* report the same values with respect to adult patients⁽³³⁾. What is more, in the analyzed pediatric group, the sensitivity of TLUS was slightly higher than that of a conventional chest X-ray when conducted directly after catheter placement. Perhaps, the difference in time from the catheter placement to the examinations by means of both methods affected the obtained results. Perhaps, if the X-ray examinations had been performed again after 1–2 hours after the procedure, the results would be comparable. Pneumothorax caused by interventional procedures is generally manifested within the first 3 hours after the procedures. This may be a probable reason for a normal lung image in the chest X-ray conducted directly after the procedure in 3 patients even though one of them suffered from a substantial pneumothorax (patient 1). In one case (patient 2), TLUS helped to diagnose slight pneumothorax, probably, so-called radiologically silent pneumothorax. In this case, the supine position of the patient during the examination might have influenced such radiological findings. The X-ray examination performed with the patient in such a position may affect the visualisation of slight pneumothorax to a considerable degree⁽³⁴⁾. Furthermore, it should be emphasized that according to the data of other authors, some instances of pneumothorax remain undiagnosed with the use of the chest X-ray irrespective of the patient's position^(35,36).

In the 4 presented cases of iatrogenic pneumothorax diagnosed with the use of sonography, its size was correctly estimated based on the lung point localization. In 3 cases, it corresponded to the size of pneumothorax assessed in radiological examinations: in X-ray (2 cases) and in CT (1 case). In one case (patient 2), further X-ray examination was not performed due to the small size of pneumothorax – it was monitored with TLUS only. The patient 1 is the first case that demonstrates the possibility to diagnose iatrogenic pneumothorax by means of the bedside TLUS examination.

The study presented herein has several significant limitations which include: a low number of pediatric

przypadku (pacjent nr 2) zrezygnowano z kolejnego badania RTG, ze względu na małe wymiary komory odmowej; jej wielkość monitorowano jedynie za pomocą PBUP. Prezentowany przypadek pacjenta nr 1 jest pierwszym ilustrującym możliwość rozpoznania jatrogennej odmy jamy opłucnej za pomocą PBUP wykonanego przyłożkowo u dziecka.

Praca własna ma kilka istotnych ograniczeń, do których należy zaliczyć małą liczebnie grupę badanych dzieci, brak badań tomograficznych klatki piersiowej jako referencyjnej metody obrazowej dla odmy jamy opłucnej, czas wykonania pierwszego PBUP, które powinno być przeprowadzane bezpośrednio po zabiegu, i czas wykonania badania RTG klatki piersiowej, które optymalnie powinno być przeprowadzane 1–3 godziny 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 jest ono monitorowane ultrasonograficznie, na prośbę lekarza wykonującego zabieg. W analizowanym okresie do sytuacji takiej doszło dwukrotnie i w obu przypadkach zakładanie CDŻ pod kontrolą USG odbyło się 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.

Wnioski

1. PBUP jest bardzo skuteczną metodą w diagnostyce jatrogennej odmy jamy opłucnej u dzieci.
2. W celu potwierdzenia tej koncepcji konieczne są jednak wieloośrodkowe badania na znacznie większej liczebnie grupie dzieci.

Artykuł został opracowany w oparciu o rozprawę habilitacyjną autora i zawiera znaczne jej fragmenty, publikowane również w „Annales Academiae Medicae Gedanensis” 2013, t. XLIII, suplement 10.

Konflikt interesów

Autor nie zgłasza 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

1. Agency for Healthcare Research and Quality (AHRQ): National Healthcare Quality Report, Rockville MD 2003.
2. Miller MR, Zhan C: Pediatric patient safety in hospitals: a national picture in 2000. *Pediatrics* 2004; 113: 1741–1746.
3. Sedman A, Harris JM 2nd, Schulz K, Schwalenstocker E, Remus D, Scanlon M *et al.*: Relevance of the Agency for Healthcare Research and Quality Patient Safety Indicators for children's hospitals. *Pediatrics* 2005; 115: 135–145.
4. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW *et al.*; International Liaison Committee on Lung Ultrasound

patients, the lack of the chest CT as a reference imaging method in pneumothorax, the time of performing the first TLUS, which should have been performed directly after the procedure, and the time of performing the chest X-ray examination, which should have been performed 1–3 hours after the procedure for the most optimal results. Nonetheless, in the available literature, this is the first publication on the application of TLUS for the diagnosis of iatrogenic pneumothorax in pediatric patients and the second one in terms of the number of presented patients. Unfortunately, in our center, ultrasound guidance of CVA procedures is performed only when the placement of a catheter is difficult, at the request of the physician that performs the procedure. In the analyzed period of time, such situations occurred twice and in both cases ultrasound-guided CVA procedures proceeded with no complications. It appears that a potential limitation of the study, i.e. the lack of routinely conducted CT as the reference method in iatrogenic pneumothorax diagnosis, is of no relevance in the case of the pediatric population.

Conclusions

1. TLUS is a highly effective method in the diagnostic process of iatrogenic pneumothorax in pediatric patients.
2. To confirm this conclusion, multicenter studies among considerably larger populations should be conducted.

The article was prepared on the basis of the author's habilitation thesis and includes its numerous fragments also published in the “Annales Academiae Medicae Gedanensis” 2013, v. XLIII, supplement 10.

Conflict of interest

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

(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: 577–591.

5. 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.
6. Kosiak W: Badanie usg płuc i opłucnej. In: Jakubowski W. (ed.): Standardy badań ultrasonograficznych. Roztoczańska Szkoła Ultrasonografii, Warszawa–Zamość 2011: 79–83.
7. Lichtenstein DA, Menu Y: A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. *Lung sliding*. *Chest* 1995; 108: 1345–1348.

8. Lichtenstein DA, Mezière G: Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol. *Chest* 2008; 134: 117–125.
9. Volpicelli G: Sonographic diagnosis of pneumothorax. *Intensive Care Med* 2011; 37: 224–232.
10. Lichtenstein DA, Mezière G, Biderman P, Gepner A: The “lung point”: an ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive Care Med* 2000; 26: 1434–1440.
11. Volpicelli G, Audino B: The double lung point: an unusual sonographic sign of juvenile spontaneous pneumothorax. *Am J Emerg Med* 2011; 29: 355.
12. Cunningham J, Kirkpatrick AW, Nicolaou S, Liu D, Hamilton DR, Lawless B *et al.*: Enhanced recognition of “lung sliding” with power color Doppler imaging in the diagnosis of pneumothorax. *J Trauma* 2002; 52: 769–771.
13. Lichtenstein D: *Whole Body Ultrasonography in the Critically III*. Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg 2010: 317.
14. Lichtenstein D, Mezière 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: 1640–1646.
15. 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.
16. Soldati G, Copetti R, Sher S: Sonographic interstitial syndrome: the sound of lung water. *J Ultrasound Med* 2009; 28: 163–174.
17. Lichtenstein DA: Ultrasound in the management of thoracic disease. *Crit Care Med* 2007; 35 (5 Suppl): S250–S261.
18. Lichtenstein D: *Whole Body Ultrasonography in the Critically III*. Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg 2010: 117–127.
19. Lichtenstein DA: Ultrasound examination of the lungs in the intensive care unit. *Pediatr Crit Care Med* 2009; 10: 693–698.
20. Soldati G, Sher S: Bedside lung ultrasound in critical care practice. *Minerva Anestesiol* 2009; 75: 509–517.
21. Henry M, Arnold T, Harvey J; Pleural Diseases Group, Standards of Care Committee, British Thoracic Society: BTS guidelines for the management of spontaneous pneumothorax. *Thorax* 2003; 58 Suppl 2: ii39–ii52.
22. Laennec RTH: *Traite de l’auscultation médiate et des maladies des poumons et du coeur*. Vol. 2, Paris 1819.
23. Sahn SA, Heffner JE: Spontaneous pneumothorax. *N Engl J Med* 2000; 342: 868–874.
24. Alter SJ: Spontaneous pneumothorax in infants: a 10-year review. *Pediatr Emerg Care* 1997; 13: 401–403.
25. Chen KY, Jerng JS, Liao WY, Ding LW, Kuo LC, Wang JY *et al.*: Pneumothorax in the ICU: patient outcomes and prognostic factors. *Chest* 2002; 122: 678–683.
26. De Lassence A, Timsit JF, Tafflet M, Azoulay E, Jamali S, Vincent F *et al.*: Pneumothorax in the intensive care unit: incidence, risk factors, and outcome. *Anesthesiology* 2006; 104: 5–13.
27. Ogata ES, Gregory GA, Kitterman JA, Phibbs RH, Tooley WH: Pneumothorax in the respiratory distress syndrome: incidence and effect on vital signs, blood gases, and pH. *Pediatrics* 1976; 58: 177–183.
28. Wernecke K, Galanski M, Peters PE, Hansen J: Pneumothorax: evaluation by ultrasound-preliminary results. *J Thorac Imaging* 1987; 2: 76–78.
29. Rantanen NW: Diseases of the thorax. *Vet Clin North Am Equine Pract* 1986; 2: 49–66.
30. Targhetta R, Bourgeois JM, Balmes P: [Echography of pneumothorax]. *Rev Mal Respir* 1990; 7: 575–579.
31. Targhetta R, Bourgeois JM, Chavagneux R, Balmes P: Diagnosis of pneumothorax by ultrasound immediately after ultrasonically guided aspiration biopsy. *Chest* 1992; 101: 855–856.
32. 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; 164: 403–405.
33. Kreuter M, Eberhardt R, Wenz H, Schmitteckert H, Heussel CP, Herth F: [Diagnostic value of transthoracic ultrasound compared to chest radiography in the detection of a post-interventional pneumothorax]. *Ultraschall Med* 2011; 32 Suppl 2: E20–E23.
34. Kirkpatrick AW, Ng AK, Dulchavsky SA, Lyburn I, Harris A, Torregiani W *et al.*: Sonographic diagnosis of a pneumothorax inapparent on plain radiography: confirmation by computed tomography. *J Trauma* 2001; 50: 750–752.
35. Reissig A, Kroegel C: Accuracy of transthoracic sonography in excluding post-interventional pneumothorax and hydropneumothorax. Comparison to chest radiography. *Eur J Radiol* 2005; 53: 463–470.
36. 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.