



Praca oryginalna
Original paper

Oleksiy Lopatin, Artur Moskała, Krzysztof Woźniak, Filip Bolechała

Analiza przypadków pourazowej odmy opłucnowej – wnioski z pośmiertnych badań tomograficznych dla rutynowej diagnostyki sekcyjnej

Analysis of cases of traumatic pneumothorax – conclusions based on post-mortem CT examinations for routine autopsy diagnostics

Katedra i Zakład Medycyny Sądowej, *Collegium Medicum* Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, Polska
Chair and Department of Forensic Medicine, Jagiellonian University Medical College, Krakow, Poland

Streszczenie

Analizie poddano 450 przypadków z lat 2017–2018, w których doszło do zgonu w wyniku wypadku drogowego, upadku z wysokości i przygniecenia. Badania pośmiertne wykonane w Zakładzie Medycyny Sądowej w Krakowie obejmowały równoległe konwencjonalną sekcję zwłok i pośmiertną tomografię komputerową (PMCT). Celem pracy była ocena częstości występowania odmy opłucnowej w badanej grupie oraz próba korelacji odmy z obecnością konkretnych rodzajów obrażeń w obrębie klatki piersiowej i okolicznościami doznania urazu. Wykorzystanie danych z PMCT w analizowanej grupie pozwoliło ujawnić odmę opłucnową w 43% przypadków. Istotną obserwacją było występowanie odmy przężnej z zapadnięciem płuca i przesunięciem śródpiersia u 16% zwłok objętych badaniem. Wśród obrażeń towarzyszących odmie opłucnowej najczęstsze były złamania rusztowania kostnego klatki piersiowej (żeber, mostka, kręgosłupa) i zranienia płuc. W 20% przypadków odmie opłucnowej towarzyszyła rozedma podskórna, a w 11% obserwowano wyraźną asymetrię klatki piersiowej. Okoliczności urazu, w których dochodziło do powstania przestrzeni powietrznych w jamach opłucnej, to przede wszystkim upadki z wysokości oraz potrącenia.

Słowa kluczowe: sekcja zwłok, pośmiertna tomografia komputerowa, PMCT, uraz, odma opłucnowa.

Abstract

The analysis comprised a total of 450 cases covering the period 2017–2018, in which death was a result of traffic accident, fall from a height, and crushing. Post-mortem examinations carried out at the Department of Forensic Medicine in Krakow consisted of conventional autopsy and post-mortem computed tomography (PMCT). The aims of the study were to evaluate the prevalence of pneumothorax in the study group, and attempt to identify a correlation between pneumothorax and the presence of specific types of thoracic injuries and the circumstances of trauma. Based on the PMCT data, pneumothorax was detected in 43% of cases in the study group. An important finding was the presence of tension pneumothorax with lung collapse and mediastinal shift in 16% of cadavers in the study group. The main injuries accompanying pneumothorax were found to be fractures of the rib cage (ribs, sternum, spine) and lung injuries. In 20% of cases, pneumothorax was shown to coexist with subcutaneous emphysema. In 11% of cases, marked asymmetry of the chest was noted. The circumstances of trauma resulting in the accumulation of air in the pleural cavities included primarily falls from a height and hits by a vehicle.

Key words: forensic autopsy, post-mortem computed tomography, PMCT, trauma, pneumothorax.

Wstęp

Od czasu wynalezienia tomografii komputerowej (*computed tomography* – CT) w latach 70. XX wieku obserwuje się stały wzrost jej znaczenia w diagnostyce klinicznej oraz w badaniach pośmiertnych [1]. Pośmiertna tomografia komputerowa (*post-mortem computed tomography* – PMCT) jest przydatna w diagnostyce odmy opłucnowej oraz w ustalaniu przyczyny zgonu [2].

Do powstania pourazowej odmy opłucnowej dochodzi w sytuacji przedostania się powietrza do jamy opłucnej na skutek uszkodzenia dróg oddechowych, miąższu płuc lub ścian klatki piersiowej. Podniesienie ciśnienia powietrza w jamie opłucnej zaburza proces oddychania w stopniu zależnym od ilości gromadzącego się gazu. W skrajnych sytuacjach może wystąpić odma prężna uciskająca na płuco, przesuwająca śródpiersie i wywołująca kompresję serca oraz zaburzająca jego efektywną pracę, co w konsekwencji może doprowadzić do śmierci. Stanem zagrożenia życia jest również wystąpienie odmy obustronnej uniemożliwiającej prawidłową wymianę gazową w płucach [3, 4] (ryc. 1).

W standardowym badaniu pośmiertnym podstawą diagnostyki powyższej patologii jest klasyczna próba na odmę opłucnową [5]. Pozwala ona na stosunkowo proste wykazanie obecności powietrza w jamach opłucnej, czego dowodzą pęcherzyki gazu uwalniające się na powierzchnię cieczy. W ten sposób nie da się jednak oszacować ilości gazu w jamie opłucnej, a co za tym idzie, nie jest możliwe wnioskowanie o dalszych konsekwencjach dla organizmu

Introduction

Ever since the 1970s, when computed tomography (CT) was first introduced into the medical field, its importance in clinical diagnostics and post-mortem examinations has been steadily growing [1]. Post-mortem computed tomography (PMCT) is useful in the diagnosis of pneumothorax, and in ascertaining the cause of death [2].

Traumatic pneumothorax arises when air penetrates into the pleural cavity following injury to the airways, pulmonary parenchyma, or thoracic walls. Increasing air pressure in the pleural cavity interferes with the breathing process to an extent depending on the amount of accumulated gas. In extreme situations, tension pneumothorax may develop, pressing on the lung, and causing mediastinal shift and compression of the heart muscle. The resulting disruption of physiological cardiac function may lead to death. Another life-threatening condition is bilateral pneumothorax which interferes with normal gas exchange in the lungs [3, 4] (Fig. 1).

In routine post-mortem examinations, the above pathology is diagnosed primarily on the basis of the conventional pneumothorax test [5]. The test provides a relatively simple method of detecting air in the pleural cavities, which is evidenced by gas bubbles rising to the liquid surface. However, the method is not suitable for estimating the amount of gas in the pleural cavity, and hence does not allow predicting further consequences for the human body, or distinguishing whether a given case involves tension pneumothorax. Also, attention should be paid to



Ryc. 1. Odma obustronna. Przekrój poprzeczny przez tułów, rekonstrukcja 2D
Fig. 1. Bilateral pneumothorax. Cross-section through the torso, 2D reconstruction

ani rozróżnienie, czy w danym przypadku mieliśmy do czynienia z odmą prężną. Należy też zwrócić uwagę na trudności w ujawnianiu obrażeń skorelowanych z powstaniem odmy jedynie na podstawie wyników standardowej sądowo-lekarskiej sekcji zwłok, bez wskazań do wykonania próby wodnej na odmě opłucnową [1]. W klasycznej metodzie z użyciem próby wodnej obecność odmy jest ujawniana, kiedy istnieją wskazania do jej wykonania w postaci przewidywanych obrażeń w obrębie klatki piersiowej [1]. W niektórych przypadkach mimo zastosowania próby wodnej obecność odmy może jednak nie zostać wykryta [1, 6]. W CT widoczne są natomiast nawet niewielkie ilości gazu w jamie opłucnej, za jej pomocą można też określić korelacje pomiędzy doznanymi obrażeniami w obrębie klatki piersiowej a obecnością odmy [1].

Cel pracy

Celem opracowania była ocena częstości występowania odmy opłucnowej w grupie ofiar wypadków komunikacyjnych, upadków z wysokości i przygnień przy zastosowaniu PMCT. Dodatkowo podjęto próbę zestawienia przypadków występowania odmy opłucnowej z konkretnymi obrażeniami w obrębie klatki piersiowej stwierdzanych w PMCT i w klasycznej sekcji sądowo-lekarskiej. Ustalenie powyższej korelacji może pomóc w przyszłości – już przed samą sekcją zwłok lub na etapie oględzin zewnętrznych – w podjęciu decyzji o wykonaniu klasycznej próby na odmě opłucnową w sytuacji braku możliwości wykonania PMCT.

Materiał i metody

W pracy przeanalizowano 450 badań pośmiertnych, opierając się zarówno na protokołach sekcyjnych, jak i zapisach równolegle przeprowadzanych badań obrazowych. Grupa badana obejmowała wszystkie ofiary zgonów w okolicznościach szeroko rozumianego wypadku komunikacyjnego, upadku z wysokości i przygńnięcia badane w Zakładzie Medycyny Sądowej w Krakowie w latach 2017–2018. We wszystkich przypadkach doszło do zgonu na miejscu zdarzenia, przed przyjazdem służb ratunkowych. Do analizy nie kwalifikowano zgonów z otwartą raną klatki piersiowej, gdyż w tych przypadkach stwierdzenie odmy opłucnowej nie wyma-

difficulties associated with the detection of injuries correlated with the development of pneumothorax based on the findings of a standard medico-legal autopsy alone, where no indications to perform the water test for pneumothorax exist [1]. Pneumothorax is detected with the conventional method, using the water test, when there are indications to carry out the test such as anticipated injuries in the chest [1]. However, there are also cases where pneumothorax may remain undetected in the water test [1, 6]. In contrast, CT can detect even small amounts of gas in the pleural cavity. Consequently, the technique can be used to determine correlations between thoracic injuries and the presence of pneumothorax [1].

Aim of study

The aim of the study was to evaluate the prevalence of pneumothorax in the group of victims of traffic accidents, falls from a height and crushing, using PMCT. In addition, the authors attempted to identify a correlation between cases of pneumothorax and the presence of specific thoracic injuries detected by PMCT and using standard medico-legal autopsy. Establishing this correlation may help in the future, either before the autopsy itself or at the stage of external examination, to determine whether the conventional pneumothorax test should be carried out in cases where PMCT cannot be performed.

Material and methods

For the purpose of the present study, a total of 450 post-mortem examinations were analysed on the basis of autopsy reports and findings of imaging tests which were conducted concurrently. The group included all deaths occurring as a result of broadly understood traffic accidents, fall from a height and crushing, which were examined at the Department of Forensic Medicine in Krakow in the years 2017 to 2018. In all cases studied, death occurred at the scene, before the arrival of emergency services. The analysis excluded corpses with open chest wounds, since determining pneumothorax in such cases required no additional examinations. The bodies under study were stored in cold rooms, and autopsies were performed within two days after death. Also excluded were cases in which late post-mortem changes were noted, as their inclusion in the analysis

gało żadnych dodatkowych badań. Ciało po śmierci były przechowywane w chłodni, a sekcje zwłok przeprowadzono do dwóch dni od zgonu. Nie brano też pod uwagę przypadków, w których stwierdzono cechy późnych przemian pośmiertnych, z uwagi na możliwość zafałszowania wyników przez tworzącą się gazy gnilne.

We wszystkich przypadkach sekcję zwłok poprzedzono badaniem PMCT na aparacie Somatom Emotion 16 (Siemens AG, Niemcy). Parametry badania: 130 kV, 50 i 240 mA, kolimacja $16 \times 0,6$, pitch 0,85 i 0,55. Badanie wykonywano w trzech seriach: 1) głowa i szyja, 2) od szyi (powyżej poziomu barków) do miednicy (poniżej kości łonowych), 3) miednica i kończyny dolne. Z każdej z nich wykonywano rekonstrukcje na oknie miękkim i kostnym oraz dodatkowe okno płucne dla klatki piersiowej. Grubość warstwy dla głowy i szyi wynosiła 0,75 mm, dla tułowia i kończyn – 1,5 mm. Ewaluację w programie Osirix (Pixmeo SARL, Szwajcaria, ver. 5.0.2). przeprowadzili specjalista medycyny sądowej z ok. ośmioletnim doświadczeniem w wykonywaniu i ocenie PMCT oraz lekarz rezydent. Ocenie podano rekonstrukcje obejmujące klatkę piersiową (tułów w kontekście rozedmy podskórnej) w oknie kostnym, miękkim i płucnym.

W celu określenia stopnia wielkości przestrzeni powietrznej powstałej pomiędzy opłucną ścienną a zapadniętym płucem posłużono się przyjętą przez klinicystów odległością graniczną wynoszącą 2 cm. Dla wymiaru mniejszego niż 2 cm odmě opłucnową klasyfikowano jako małą, dla wymiaru większego albo równego jako dużą [7].

Oceniając istotność różnic w częstości występowania poszczególnych obrażeń klatki piersiowej oraz zespołów obrażeń w grupach przypadków z odmě i bez odmy, przeprowadzono analizę statystyczną przy użyciu testu χ^2 . Jako próg istotności przyjęto $p < 0,05$.

Wyniki i omówienie

Wyniki prac przedstawiono w postaci zestawienia występowania odmy opłucnowej z obecnością poszczególnych obrażeń w obrębie klatki piersiowej oraz częstości występowania odmy stwierdzonej w badaniu PMCT w odniesieniu do okoliczności, w jakich doszło do urazu klatki piersiowej (tab. I–VII).

could result in false results due to the production of putrefaction gases.

In all cases studied, autopsy was preceded by PMCT examination performed using a Somatom Emotion 16 scanner (Siemens AG, Germany). Scanning parameters: 130 kV, 50 and 240 mA, collimation 16×0.6 , pitch 0.85 and 0.55. The examination was performed in three series: 1) head and neck, 2) from the neck (above the shoulder level) down to the pelvis (below the pubic bones), 3) pelvis and lower extremities. For each run, reconstructions were made in window settings optimised for soft tissues and bones, and additionally for lungs in chest images. The slice thickness in head and neck scans was 0.75, and in torso and extremity scans 1.5 mm. The evaluation was performed using the software Osirix (Pixmeo SARL, Switzerland, ver. 5.0.2) by a forensic medicine expert with approximately 8 years' experience in conducting and assessing PMCT scans, and a resident physician. The evaluation included chest reconstructions (torso in the context of subcutaneous emphysema) in the bone, soft tissue and lung windows.

To determine the size of the air space formed between the parietal pleura and the collapsed lung, the 2 cm cut-off value adopted by clinicians was employed. Where the dimension was smaller than 2 cm, pneumothorax was classified as small, and where it was equal to or larger than 2 cm, it was classified as large [7].

To assess the significance of differences in the prevalence of different thoracic injuries and injury combinations between the groups of cases with and without pneumothorax, a statistical analysis using the χ^2 test was performed. The value of $p < 0.05$ was adopted as the significance level.

Results and discussion

The study results were shown as correlations between the occurrence of pneumothorax and the presence of different thoracic injury types, and the prevalence of pneumothorax found in the study by PMCT and the circumstances in which thoracic injuries were sustained (Tables I–VII).

In the group of 450 autopsies analysed, PMCT revealed pneumothorax in a total of 195 cases (43%). Bilateral pneumothorax was found in 103 cadavers from the group where the presence of pneumotho-

Tabela I. Zestawienie procentowego udziału poszczególnych przypadków z odmą przy konkretnych obrażeniach

Table I. Percentages of cases with pneumothorax coexisting with indicated injury types

Obrażenia Injuries	Liczba przypadków, w których stwierdzono wskazaną zmianę pourazową wraz z odmą opłucnową Number of cases in which the indicated traumatic lesion was found to coexist with pneumothorax	Liczba przypadków, w których stwierdzono wskazaną zmianę pourazową bez występowania odmy opłucnowej Number of cases in which the indicated traumatic lesion was found without coexisting pneumothorax	Procentowy udział Percentage of cases
Złamanie żeber bez przerwania opłucnej ściennej Fracture of the ribs without parietal pleural rupture	100	44	69.44
Złamanie żeber z przerwaniem opłucnej ściennej Fracture of the ribs with parietal pleural rupture	62	34	64.58
Asymetria klatki piersiowej Chest asymmetry	52	5	91.22
Złamanie mostka Sternal fracture	51	23	68.91
Przerwanie opłucnych płucnych (w tym przypadki z uszkodzeniem mięszu płucnego i oskrzeli) Rupture of visceral pleurae (including cases of damage to the pulmonary parenchyma and bronchi)	48	10	82.75
Złamanie kręgosłupa Spinal fracture	43	15	74.13
Rozedma podskórna Subcutaneous emphysema	91	35	72.22
Złamanie żeber + mostka Fracture of the ribs and sternum	57	31	64.77
Złamanie żeber + kręgosłupa Fracture of the ribs and spine	43	10	81.13

W 195 przypadkach (43%) spośród 450 analizowanych PMCT ujawniło odmę opłucnową. Obecność odmy obustronnej stwierdzono w 103 przypadkach z grupy ze stwierdzoną odmą (53%). U 112 zmarłych wykazano odmę dużą (57% ze 195 przypadków) (ryc. 2), natomiast u 83 odległość pomiędzy powierzchnią płuca a ścianą klatki piersiowej wynosiła mniej niż 2 cm, wskazując na odmę małą (43% ze 195 przypadków) (ryc. 3).

Istotną obserwacją była obecność odmy prężnej (wentylowej) z zapadnięciem płuca i przesunięciem śródpiersia w kierunku strony przeciwnej w 32 przy-

razach was confirmed (53%). Large pneumothorax was found in a total of 112 cadavers (57% of 195 cases) (Fig. 2). In contrast, in 83 cadavers the distance between the lung surface and the thoracic wall was less than 2 cm, indicating small pneumothorax (43% of 195 cases) (Fig. 3).

An important finding of the study was the occurrence of tension (pressure) pneumothorax with lung collapse and mediastinal shift to the opposite side in a total of 32 cases, i.e. 16% of the group with confirmed pneumothorax and 7% of all study cases (Fig. 4). In 91 cases, representing approximately

Tabela II. Zestawienie procentowego udziału poszczególnych obrażeń i zespołów obrażeń klatki piersiowej w grupie przypadków ze stwierdzoną odmą opłucnową ($n = 195$)Table II. Percentages of thoracic injuries and injury combinations in the group of cases with pneumothorax ($n = 195$)

Obrażenie Injury	Liczba przypadków, w których stwierdzono wskazaną zmianę pourazową wraz z odmą opłucnową Number of cases in which the indicated traumatic lesion was found to coexist with pneumothorax	Procentowy udział Percentage of cases
Złamanie żeber bez przerwania opłucnej ściennej Fracture of the ribs without parietal pleural rupture	100	51.28
Złamanie żeber z przerwaniem opłucnej ściennej Fracture of the ribs with parietal pleural rupture	62	31.79
Asymetria klatki piersiowej Chest asymmetry	52	26.66
Złamanie mostka Sternal fracture	51	26.15
Przerwanie opłucnych płucnych (w tym przypadki z uszkodzeniem mięszu płucnego i oskrzeli) Rupture of visceral pleurae (including cases of damage to the pulmonary parenchyma and bronchi)	48	24.61
Złamanie kręgosłupa Spinal fracture	43	22.05
Rozedma podskórna Subcutaneous emphysema	91	46.66
Złamanie żeber + mostka Fracture of the ribs and sternum	57	29.23
Złamanie żeber + kręgosłupa Fracture of the ribs and spine	43	22.05

padkach, co stanowiło 16% grupy z potwierdzoną odmą opłucnową oraz 7% wszystkich badanych przypadków (ryc. 4). W 91 przypadkach jednocześnie z powietrzem w jamach opłucnej ujawniono przestrzenie gazowe w tkankach podskórnych – tzw. rozedmę podskórną, co stanowiło ok. 20% wszystkich badanych przypadków (ryc. 5).

Z zestawienia procentowego udziału poszczególnych obrażeń klatki piersiowej w grupie z odmą opłucnową stwierdzoną w badaniu PMCT wynika, że rozedma podskórna występowała w 46%, a asymetria klatki piersiowej w 26% przypadków.

Dyskusja i wnioski

Tematyka pourazowej odmy opłucnowej nie stanowiła dotąd przedmiotu szczególnie zainteresowania oraz pogłębionych badań na gruncie medycyny sądowej. W podstawowym zakresie była

20% of all study cases, air accumulation in the pleural cavities was found to coexist with the collection of gas in the subcutaneous tissues (subcutaneous emphysema) (Fig. 5).

In contrast, the percentages of different thoracic injuries in the group of cases with pneumothorax determined by PMCT show that subcutaneous emphysema occurs in 46%, and chest asymmetry in 26% of cases.

Discussion and conclusions

Traumatic pneumothorax has not been regarded to date as a topic of special interest or a subject of more in-depth research in the field of forensic medicine. The basic aspects of the problem have been discussed in academic textbooks, and casuistic reports from the field of post-mortem research have appeared in a limited number of publications [2, 8].

Tabela III. Zestawienie procentowego udziału poszczególnych obrażeń i zespołów obrażeń klatki piersiowej w grupie przypadków bez stwierdzonej odmy opłucnowej ($n = 255$)
Table III. Percentages of thoracic injuries and injury combinations in the group of cases without pneumothorax ($n = 255$)

Obrażenie Injury	Liczba przypadków, w których stwierdzono wskazaną zmianę pourazową bez występowania odmy opłucnowej Number of cases in which the indicated traumatic lesion was found without coexisting pneumothorax	Procentowy udział Percentage of cases
Złamanie żeber bez przerwania opłucnej ściennej Fracture of the ribs without parietal pleural rupture	44	17.25
Złamanie żeber z przerwaniem opłucnej ściennej Fracture of the ribs with parietal pleural rupture	34	13.33
Asymetria klatki piersiowej Chest asymmetry	5	1.96
Złamanie mostka Sternal fracture	23	9.02
Przerwanie opłucnych płucnych (w tym przypadki z uszkodzeniem mięszu płucnego i oskrzeli) Rupture of visceral pleurae (including cases of damage to the pulmonary parenchyma and bronchi)	10	3.92
Złamanie kręgosłupa Spinal fracture	15	5.88
Rozedma podskórna Subcutaneous emphysema	35	13.72
Złamanie żeber + mostka Fracture of the ribs and sternum	31	12.16
Złamanie żeber + kręgosłupa Fracture of the ribs and spine	10	3.92

omawiana w podręcznikach akademickich, a nieliczne publikacje prezentowały kazuistyczne doniesienia z praktyki badań pośmiertnych [2, 8]. Znacznie więcej opracowań można znaleźć w obszarze nauk klinicznych, w szczególności medycyny ratunkowej i traumatologii [9–17]. Wyjaśnieniem takiej sytuacji może być fakt, że CT stanowi nadal niezbyt rozpowszechnione narzędzie w rutynowej sądowo-lekarskiej diagnostyce pośmiertnej – w przeciwieństwie do licznych interwencyjnych dziedzin medycznych związanych z ratowaniem pacjentów po rozmaitych, często rozległych urazach, gdzie nowoczesne badania obrazowe mają swoją ugruntowaną pozycję i podlegają ciągłemu rozwojowi. Ponadto klasyczna metoda rozpoznawania odmy opłucnowej podczas sekcji zwłok nie daje zbyt szczegółowych informacji poza potwierdzeniem jej obecności. Nie da się dzięki niej uzyskać danych na temat objętości gazu lub

A more extensive body of research findings can be found in clinical sciences, particularly emergency medicine and traumatology [9–17]. The situation can be explained by the fact that CT is still a fairly uncommon tool in routine medico-legal post-mortem diagnostics, unlike in the broad spectrum of interventional medical disciplines focused on rescuing patients after various, often extensive injuries, where modern imaging examinations have their well-established place and are under constant development. Furthermore, the widely used conventional method for detecting pneumothorax at autopsy can only confirm the presence of the condition, while failing to yield other detailed findings. For example, the conventional method does not have the capability to assess the volume of accumulated gas or discriminate between ordinary and tension pneumothorax (pressure pneumothorax), which may be

Tabela IV. Zestawienie procentowego udziału przypadków z obecnością odmy opłucnej z poszczególnymi obrażeniami i zespołami obrażeń klatki piersiowej w całej badanej grupie ($n = 450$)Table IV. Percentages of cases with pneumothorax correlated with thoracic injuries and injury combinations in the entire study group ($n = 450$)

Obrażenie Injury	Liczba przypadków, w których stwierdzono wskazaną zmianę pourazową wraz z odmą opłucnową Number of cases in which indicated traumatic lesions were found to coexist with pneumothorax	Procentowy udział Percentage of cases
Złamanie żeber bez przerwania opłucnej ściennej Fracture of the ribs without parietal pleural rupture	100	22.22
Złamanie żeber z przerwaniem opłucnej ściennej Fracture of the ribs with parietal pleural rupture	62	13.77
Asymetria klatki piersiowej Chest asymmetry	52	11.55
Złamanie mostka Sternal fracture	51	11.33
Przerwanie opłucnych płucnych (w tym przypadki z uszkodzeniem mięszu płucnego i oskrzeli) Rupture of visceral pleurae (including cases of damage to the pulmonary parenchyma and bronchi)	48	10.66
Złamanie kręgosłupa Spinal fracture	43	9.55
Rozedma podskórna Subcutaneous emphysema	91	20.22
Złamanie żeber + mostka Fracture of the ribs and sternum	57	12.66
Złamanie żeber + kręgosłupa Fracture of the ribs and spine	43	9.55

informacji pozwalających odróżnić odnę zwykłą od prężnej (wentyłowej), co może mieć decydujące znaczenie dla mechanizmu zgonu [18].

Niewątpliwie prezentowane wyniki badań wskazują na dużą przydatność PMCT w diagnozowaniu odmy opłucnowej. Wykonanie i odpowiednia interpretacja wyników PMCT zdecydowanie ułatwiają ustalenie właściwego i dokładnego rozpoznania. Przeprowadzone analizy dowodzą również, że w okolicznościach zgonów o charakterze urazowym obecność powietrza w jamach opłucnowych jest często spotykana. Jak wynika z badań klinicznych, u 62% pacjentów po urazie klatki piersiowej dochodzi do powstania odmy opłucnowej [15]. W badaniach zwraca się również uwagę na zwiększającą się w ostatnich latach liczbę rozpoznań odmy opłucnowej w grupie osób z tęym urazem klatki piersiowej [16, 17]. W badanej grupie śmiertelnych przypad-

a decisive factor for determining the mechanism of death [18].

The presented study findings clearly demonstrate that PMCT is highly useful for the diagnosis of pneumothorax. The performance of PMCT and appropriate interpretation of its findings markedly facilitates reaching the correct and accurate diagnosis. The analyses conducted as part of the study also demonstrate that the presence of air in the pleural cavities is common in traumatic circumstances of death. As shown by clinical studies, 62% of patients with thoracic trauma develop pneumothorax [15]. Other authors also report a growing number of diagnosed cases of pneumothorax in recent years among victims of blunt force trauma to the chest [16, 17]. In the study group of fatal cases examined in 2017–2018 pneumothorax was detected by PMCT in approximately 43% of the cadavers.

Tabela V. Wynik analizy statystycznej występowania poszczególnych obrażeń i zespołów obrażeń w grupie przypadków ze stwierdzoną odmą w odniesieniu do grupy bez odmy opłucnowej
Table V. Result of statistical analysis for the prevalence of different injuries and injury combinations in the group of cases with pneumothorax compared to the group without pneumothorax

Zespół obrażeń Injury combination	Liczba przypadków w grupie ze stwierdzoną odmą opłucnową Number of cases with pneumothorax in the group	Liczba przypadków w grupie bez stwierdzonej odmy opłucnowej Number of cases without pneumothorax in the group	Wyniki testu χ^2 Results of χ^2 test	Poziom istotności p Significance level p
Złamanie żeber bez przerwania opłucnej ściennej Fracture of the ribs without parietal pleural rupture	100	44	21.76	< 0.001
Złamanie żeber z przerwaniem opłucnej ściennej Fracture of the ribs with parietal pleural rupture	62	34	8.17	0.004
Asymetria klatki piersiowej Chest asymmetry	52	5	38.76	< 0.001
Złamanie mostka Sternal fracture	51	23	10.6	0.001
Przerwanie opłucnych płucnych (w tym przypadki z uszkodzeniem mięszu płucnego i oskrzeli) Rupture of visceral pleurae (including cases of damage to the pulmonary parenchyma and bronchi)	48	10	24.88	< 0.001
Złamanie kręgosłupa Spinal fracture	43	15	13.52	< 0.001
Złamanie żeber + mostka Fracture of the ribs and sternum	57	31	7.68	0.006
Złamanie żeber + kręgosłupa Fracture of the ribs and spine	43	10	20.54	< 0.001

ków z lat 2017–2018 odmę opłucnową za pomocą PMCT stwierdzono u ok. 43% osób.

W metodyce badań przyjęto podział na małą i dużą odmę na podstawie szerokości komory odmorej z wartością graniczną wynoszącą 2 cm [7]. Przytaczana w publikacjach wartość graniczna 35 mm wynika natomiast z analiz procesu leczenia osób z tępymi urazami klatki piersiowej i ich rokowania w zależności od tego, czy szerokość komory odmorej jest poniżej czy powyżej tej wartości [12]. W innych publikacjach przyjmuje się wartość graniczną odmy 1 cm jako czynnik wpływający na skierowanie pacjenta do dalszego leczenia w ośrodkach specjalizujących się w leczeniu obrażeń wielonarządowych [17].

The division into small and large pneumothorax adopted for the research methodology is based on the width of the pneumothorax space with a cut-off value of 2 cm [7]. In contrast, the cut-off point of 35 mm specified in the literature is based on studies of the treatment process in patients with thoracic injuries resulting from blunt force trauma and their prognosis depending on whether the width of the pneumothorax space is below or above this value [12]. In other publications, the cut-off value of 1 cm is adopted for pneumothorax as a factor determining patient referral for further therapy in medical centres specialising in the treatment of multi-organ injuries [17].

Tabela VI. Zestawienie procentowego udziału przypadków z obecnością odmy opłucnej (w tym prężnej) w poszczególnych grupach zdarzeń

Table VI. Percentages of cases with pneumothorax (including tension pneumothorax) in different groups of incidents

Okoliczności Circumstances	Liczba osób uczestnicząca w poszczególnych zdarzeniach Number of victims involved in respective incidents	Liczba przypadków wystąpienia odmy Number of pneumothorax cases	Procentowy udział osób z odmą Percentage of victims with pneumothorax	Liczba przypadków wystąpienia odmy prężnej Number of tension pneumothorax cases	Procentowy udział osób z odmą prężną Percentage of victims with tension pneumothorax
Potrącenia (w tym 8 potrąceń przez pociąg oraz 4 rowerzystów) Hits by a vehicle (including 8 cases of train hits and 4 cyclists)	152	65	42.76	9	5.92
Upadki z wysokości Falls from a height	82	54	65.85	12	14.63
Kierowcy samochodów Car drivers	80	30	37.5	5	6.25
Motocykliści Motorcyclists	18	13	72.22	2	11.11
Inne wypadki komunikacyjne Other traffic accidents	36	10	27.77	–	–
Pasażerowie samochodów Car passengers	35	8	22.85	1	2.86
Przygniecenia Crushing	25	8	32	–	–
Przejechania Running over	22	7	31.81	–	–

Analiza wyników przeprowadzonych badań obrazowych wskazuje, że w 46% przypadków odmie opłucnowej towarzyszyła rozedma podskórna, a w ok. 25% wystąpiła asymetria klatki piersiowej. W grupie osób bez stwierdzonej odmy opłucnowej tylko u 13% wystąpiła rozedma podskórna, a u ok. 2% doszło do asymetrii klatki piersiowej. Powyższe wyniki wskazują na istotne znaczenie oględzin zewnętrznych zwłok, podczas których da się zauważyć rozedmę podskórną oraz asymetryczne zniekształcenie klatki piersiowej, w wysunięciu podejrzenia wystąpienia odmy opłucnowej. Stwierdzenie powyższych objawów w czasie oględzin zewnętrznych zwłok należy traktować jako przesłankę wskazującą na możliwość wystąpienia

The findings of imaging tests show that in 46% of cases pneumothorax was accompanied by subcutaneous emphysema, while in approximately 25% of cases coexisting chest asymmetry was found. In contrast, in the group of cases without pneumothorax, subcutaneous emphysema was found only in 13%, and chest asymmetry in approximately 2% of corpses. The above findings demonstrate that external body examination may play an important role in raising the suspicion of pneumothorax in cases where the presence of subcutaneous emphysema and asymmetric chest deformity are revealed. The detection of the above symptoms at the external body examination should be regarded as predictive

Tabela VII. Częstość występowania odmy opłucnowej stwierdzonej w badaniu PMCT w odniesieniu do okoliczności, w jakich doszło do urazu klatki piersiowej

Table VII. Prevalence of pneumothorax found by PMCT in relation to circumstances in which thoracic injury was sustained

Okoliczności Circumstances	Liczba osób uczestniczących w poszczególnych zdarzeniach Number of victims involved in respective incidents	Liczba przypadków, w których stwierdzono odmę opłucnową w badaniu PMCT Number of cases with pneumothorax confirmed by PMCT	Częstość występowania odmy opłucnowej w poszczególnych grupach Prevalence of pneumothorax in different groups
Potrącenia (w tym 8 potrąceń przez pociąg oraz 4 rowerzystów) Hits by a vehicle (including 8 cases of train hits and 4 cyclists)	152	65	0.43
Upadki z wysokości Falls from a height	82	54	0.66
Kierowcy samochodów Car drivers	80	30	0.37
Motocykliści Motorcyclists	18	13	0.72
Inne wypadki komunikacyjne Other traffic accidents	36	10	0.27
Pasażerowie samochodów Car passengers	35	8	0.23
Przygniecenia Crushing	25	8	0.23
Przejechania Running over	22	7	0.32

odmy opłucnowej. W przypadku braku możliwości przeprowadzenia pośmiertnych badań obrazowych powinno to skutkować decyzją o przeprowadzeniu próby na odmę opłucnową.

of possible pneumothorax. In the absence of possibility to conduct post-mortem imaging tests, such findings should serve as a rationale for performing a pneumothorax test.



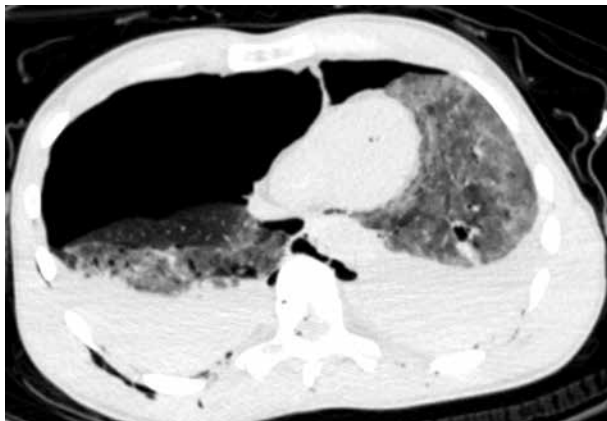
Ryc. 2. Odma duża lewostronna. Przekrój poprzeczny przez tułów, rekonstrukcja 2D

Fig. 2. Large left-sided pneumothorax. Cross-section through the torso, 2D reconstruction



Ryc. 3. Odma mała prawostronna. Przekrój poprzeczny przez tułów, rekonstrukcja 2D

Fig. 3. Small right-sided pneumothorax. Cross-section through the torso, 2D reconstruction

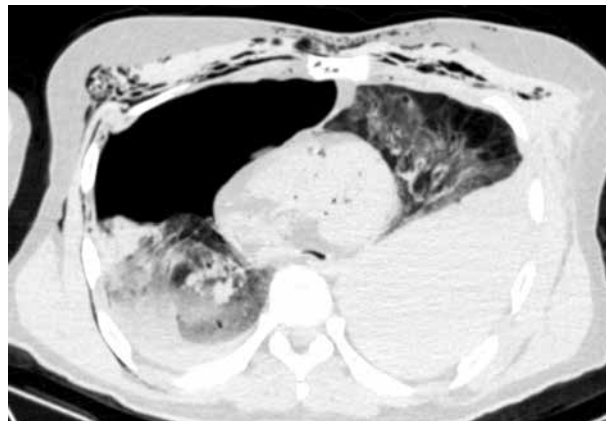


Ryc. 4. Odma prężna. Przekrój poprzeczny przez tułów, rekonstrukcja 2D

Fig. 4. Tension pneumothorax. Cross-section through the torso, 2D reconstruction

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej częstości występowania poszczególnych obrażeń dla wszystkich badanych zmian pourazowych stwierdzono istotną statystycznie różnicę (poziom istotności p znacząco mniejszy od 0,05) pomiędzy grupą przypadków z odmą i bez odmy opłucnowej. Wskazuje to, że obecność każdego z omawianych obrażeń może przemawiać w istotny sposób za jednoczesnym występowaniem odmy opłucnowej. W największym stopniu wykazano to dla złamań żeber bez przerwania opłucnej, dla asymetrii klatki piersiowej, uszkodzenia płuc oraz zespołu obrażeń: złamań żeber z towarzyszącym złamaniem kręgosłupa. W przypadkach złamań żeber bez przerwania opłucnej powstanie odmy opłucnowej wynika z innych towarzyszących obrażeń, takich jak złamanie kręgosłupa i mostka oraz uszkodzenie płuc. Istotność złamań żeber jako czynnika wskazującego na możliwą obecność odmy opłucnowej znajduje też swoje potwierdzenie w badaniach klinicznych dotyczących obrażeń powstałych po resuscytacji krążeniowo-oddechowej [14].

Wśród zmian pourazowych w obrębie struktur kostnych klatki piersiowej 100 przypadków obejmowało sumę dwóch zespołów obrażeń. Łącznie złamania żeber i mostka oraz złamania żeber i kręgosłupa stanowiły 51,28% wszystkich przypadków, w których stwierdzono obecność odmy opłucnowej. Natomiast oddzielnie przypadki złamania żeber, mostka oraz kręgosłupa stanowiły 31%, 26% oraz 22%. Powyższe wyniki świadczą o tym, że badanie



Ryc. 5. Rozedma podskórna. Przekrój poprzeczny przez tułów, rekonstrukcja 2D

Fig. 5. Subcutaneous emphysema. Cross-section through the torso, 2D reconstruction

The results of the statistical analysis conducted to evaluate the prevalence of different injury types show that a statistically significant difference (significance level p markedly lower than 0.05) exists between the groups of cases with and without pneumothorax as regards the traumatic lesions under study. This shows that the presence of each of the injuries discussed may be highly predictive of concurrent pneumothorax. The above correlation was most prominent for rib fractures without pleural rupture, for chest asymmetry, lung injury, and the combination of rib fractures with co-existing spinal fracture. In cases of rib fractures without pleural rupture, pneumothorax develops as a result of other associated injuries such as spinal and sternal fractures, and lung injury. It must be noted that the importance of rib fractures as a predictor of potential pneumothorax is also corroborated by clinical studies of injuries resulting from the application of cardiopulmonary resuscitation [14].

Among traumatic lesions within the bone structures of the rib cage, 100 cases involved the sum of two injury combinations. Overall, rib and sternal fractures, and rib and spinal fractures, accounted for 51.28% of all corpses in which pneumothorax was detected. Cases of separate rib, sternal and spinal fractures represented 31%, 26% and 22%, respectively. The above findings show that the examination of the extent of injuries in the bone structures of the rib cage produces more beneficial diagnostic effects

zakresu obrażeń struktur kostnych klatki piersiowej daje dla odmy korzystniejsze efekty diagnostyczne niż analiza pojedynczych rodzajów obrażeń.

Przy analizie częstości występowania odmy opłucnowej w odniesieniu do okoliczności, w jakich doszło do urazu klatki piersiowej, nasuwa się wniosek, że trzy główne grupy ryzyka to motocykliści, ofiary upadków z wysokości, potrąceni piesi i rowerzyści. Z kolei w grupie przypadków, w których wystąpiła odma prężna, procentowo najczęściej było ofiar upadków z wysokości. Tym samym powyższe trzy grupy powinny być szczególnie brane pod uwagę podczas diagnostyki pośmiertnej w warunkach sali sekcyjnej w kontekście prawdopodobnej obecności pourazowej odmy opłucnowej.

Jako główne wnioski z pracy należy wskazać:

- 1) w sytuacji braku dostępu do pośmiertnych badań obrazowych – konieczność częstego wykonywania klasycznej próby na odmę opłucnową w grupie przypadków z obrażeniami klatki piersiowej powstałymi w wyniku urazu tępym narzędziem,
- 2) istotność objawów w postaci rozedmy podskórnej i asymetrii klatki piersiowej stwierdzanych podczas oględzin zewnętrznych zwłok jako obserwacji wskazujących na możliwość wystąpienia odmy opłucnowej,
- 3) wykazanie istotnej statystycznie zależności między występowaniem odmy opłucnowej a wszystkimi badanymi obrażeniami ciała oraz zespołami obrażeń,
- 4) konieczność brania pod uwagę możliwości wystąpienia odmy opłucnowej szczególnie u ofiar wypadków motocyklowych, upadków z wysokości oraz potrąceń pieszych i rowerzystów.

Autorzy deklarują brak konfliktu interesów.

for pneumothorax than an analysis of individual injury types.

Analysing the prevalence of pneumothorax in the context of the circumstances in which thoracic trauma occurred, the resulting conclusion is that motorcyclists, victims of falls from a height, and pedestrians and cyclists hits by vehicles represent three main risk groups. In contrast, the group of cases with tension pneumothorax had the highest percentage of victims of falls from a height. Hence, the three groups of circumstances of trauma enumerated above should be especially taken into account in post-mortem diagnostics in the autopsy room, in view of the likely presence of traumatic pneumothorax.

Summing up, three main conclusions emerge from the study:

- 1) The conventional pneumothorax test should be commonly performed in the group of cases with thoracic injuries due to blunt force trauma if post-mortem imaging examinations are inaccessible.
- 2) Symptoms found at the external examination of the body including subcutaneous emphysema and chest asymmetry are significant in that they may indicate the possible presence of pneumothorax.
- 3) A statistically significant correlation was found between the occurrence of pneumothorax and all studied injuries and injury combinations.
- 4) With regard to the studied types of circumstances in which the possibility of pneumothorax should be especially considered, it must be noted that the condition is particularly prevalent among victims of motorcycle accidents and falls from a height, and pedestrians and cyclists hit by vehicles.

The authors declare no conflict of interest.

Piśmiennictwo

References

1. Jalalzadeh H, Giannakopoulos GF, Berger FH, Fronczek J, Van de Goot FRW, Reijnders UJ, Zuidema WP. Post mortem imaging compared with autopsy in trauma victims – A systematic review. *Forensic Sci* 2015; 29-48.
2. Jian J, Shao Y, Wan L, Zhang M, Liu N, Zhang J, Chen Y. Autopsy diagnosis of acupuncture-induced bilateral tension pneumothorax using whole-body post-mortem computed tomography: A case report. *Medicine (Baltimore)* 2018; 97: e13059.
3. DiMaio V, DiMaio D. *Medycyna sądowa*. Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2003: 119.
4. Marcinkowski T. *Medycyna sądowa dla prawników*, Tom I. Ars boni et aequi, Poznań 2000: 209.

5. Raszeja S, Nasilkowski W, Markiewicz J. Medycyna sądowa. Podręcznik dla studentów Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1990: 98.
6. Daly B, Abboud S, Ali Z, Sliker C, Fowler D. Comparison of whole-body post mortem 3D CT and autopsy evaluation in accidental blunt force traumatic death using the abbreviated injury scale classification. *Forensic Sci* 2013; 225: 20-26.
7. Interna Szczeklika. Choroby Układu Oddechowego. Medycyna Praktyczna, Kraków 2014: 774-775.
8. Hasegawa I, Heinemann A, Tzikas A, Vogel H, Püschel K. Criminal gunshot wound and iatrogenic tension pneumothorax detected by post-mortem computed tomography. *Leg Med (Tokyo)* 2014; 16: 154-156.
9. Porhomayon J, Doerr R. Pneumothorax and subcutaneous emphysema secondary to blunt chest injury. *Int J Emerg Med* 2011; 4: 10.
10. Çorbacioğlu SK, Er E, Aslan S, Seviner M, Aksel G, Doğan NÖ, Güler S, Bitir A. The significance of routine thoracic computed tomography in patients with blunt chest trauma. *Injury* 2015; 46: 849-853.
11. Subhani SS, Muzaffar MS, Khan MI. Comparison of outcome between low and high thoracic trauma severity score in blunt trauma chest patients. *J Ayub Med Coll Abbottabad* 2014; 26: 474-477.
12. Bou Zein Eddine S, Boyle KA, Dodgion CM, et al. Observing Pneumothoraces: The 35 Millimeter Rule Is Safe for Both Blunt and Penetrating Chest Trauma. *J Trauma Acute Care Surg* 2019; 86: 557-564.
13. Rodriguez RM, Canseco K, Baumann BM, et al. Pneumothorax and Hemothorax in the Era of Frequent Chest Computed Tomography for the Evaluation of Adult Patients With Blunt Trauma. *Ann Emerg Med* 2019; 73: 58-65.
14. Yusufoglu K, Erdogan MO, Tayfur I, Afacan MA, Çolak Ş. CPR-related thoracic injuries: comparison of CPR guidelines between 2010 and 2015. *Turk J Med Sci* 2018; 48: 24-27.
15. Akgul Ozmen C, Onat S, Aycicek D. Radiologic findings of thoracic trauma. *Ther Clin Risk Manag* 2017; 13: 1085-1089.
16. Hefny AF, Kunhivalappil FT, Matev N, Avila NA, Bashir MO, Abu-Zidan FM. Management of computed tomography-detected pneumothorax in patients with blunt trauma: experience from a community-based hospital. *Singapore Med J* 2018; 59: 150-154.
17. Vodička J, Špidlen V, Třeška V, Vejvodová Š, Doležal J, Židková A, Škorpil J. Traumatic pneumothorax – diagnosis and treatment of 322 cases over a five-year period. *Rozhl Chir* 2017; 96: 457-462.
18. Woźniak K, Moskała A, Konopka T, Rzepecka-Woźniak E, Bolechała E, Kluza P, Latacz K. Application of PMCT in cases of deaths potentially caused by tension pneumothorax. *J Forensic Radiol Imaging* 2013; 1: 80-87.

Adres do korespondencji

Oleksiy Lopatin
Katedra i Zakład Medycyny Sądowej
Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego
ul. Grzegórzecka 16
31-531 Krakow, Poland
e-mail: atamanczik@yahoo.pl

Nadesłano: 23.01.2019

Zaakceptowano: 25.02.2019

Address for correspondence

Oleksiy Lopatin
Chair and Department of Forensic Medicine
Jagiellonian University Medical College
16 Grzegórzecka St.
31-531 Krakow, Poland
e-mail: atamanczik@yahoo.pl

Submitted: 23.01.2019

Accepted: 25.02.2019