

The role of computed tomography in post-mortem examinations

Rola tomografii komputerowej w badaniu pośmiertnym

Wojciech Modzelewski, Jacek Janica¹

[1] Zakład Diagnostyki Obrazowej, Uniwersytecki Dziecięcy Szpital Kliniczny w Białymstoku

Abstract

In the study, data from the literature regarding the use of computed tomography in post-mortem examinations (post-mortem computed tomography - PMCT) were analyzed. Literature data indicate that PMCT should be used as a complementary tool rather than an alternative to autopsy, detecting additional changes that may have been unnoticed due to anatomical location or the need to extend traditional autopsy techniques. The ability to save, create and reconstruct images is very helpful in creating documentation and final opinions. There is a need to develop standards for the evaluation of post-mortem computed tomography images, which will enable further development of virtual autopsy techniques in the field of forensic medicine, supported by artificial intelligence.

Keywords

computed tomography, autopsy, post-mortem computed tomography

Streszczenie

W pracy przeanalizowano dane z piśmiennictwa dotyczące wykorzystania tomografii komputerowej w badaniu pośmiertnym (post-mortem computed tomography - PMCT). Dane literaturowe wskazują, że badanie PMCT powinno być używane jako narzędzie uzupełniające, a nie jako alternatywa dla sekcji zwłok, wykrywając dodatkowe zmiany, które mogły zostać nie zauważone ze względu na położenie anatomiczne czy konieczność poszerzenia tradycyjnej techniki sekcyjnej. Możliwość zapisywania, tworzenia obrazów i rekonstrukcji jest bardzo pomocna w tworzeniu dokumentacji i ostatecznych opinii. Istnieje potrzeba opracowania standardów oceny obrazów pośmiertnej tomografii komputerowej, co pozwoli na dalszy rozwój technik wirtualnej autopsji w dziedzinie medycyny sądowej, wspomaganą sztuczną inteligencją.

Słowa kluczowe

tomografia komputerowa, sekcja zwłok, pośmiertna tomografia komputerowa

Introduction

A forensic autopsy is conducted to determine the cause of death, the injuries sustained, and the mechanism of their occurrence. Imaging studies, including PMCT, complement post-mortem examinations. An extension of this technique is post-mortem computed tomography angiography (PMCTA), which is highly sensitive in identifying significant vascular changes and organ damage. However, due to its longer duration and technical difficulties, it is mainly used as a targeted examination in forensic practice [1].

The dynamic development of computed tomography (CT) technology offers unlimited possibilities for diagnosing very small changes, reconstructing them, and imaging them in any plane. In modern CT machines, achieving a layer thickness of 0.3 mm is not a problem, which significantly increases diagnostic capabilities and simultaneously reduces the chances of missing traumatic or pathological changes. The additional use of contrast agents, administered at the appropriate speed using a dedicated pump, increases the effectiveness of imaging parenchymal organs, blood vessels, their structure, and any damage. Performing a CT scan also involves the possibility of creating visualizations in two-dimensional (2D), three-dimensional (3D), and multiplanar reformatted (MPR) reconstructions, each of which has its application. 2D visualizations are particularly useful in the radiological assessment of PMCT, allowing the indication of specific details and anatomical changes. MPR reconstructions allow the visualization of organs in three planes, and 3D visualizations enable the creation of spatial images that more clearly present changes in organs for non-medical individuals, such as prosecutors. 3D visualization images make it possible to create documentation that serves as evidence in a case [2].

The results of PMCT studies can be stored in the form of image files and reconstructions compliant with the DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) standard, long after the examination is completed. They can therefore be used later for comprehensive event reconstruction. At the same time, the images obtained in the studies, along with their correct interpretation, can be used to develop artificial intelligence algorithms, which will enable increased efficiency of PMCT examinations in the future.

Wstęp

Sądowo-lekarska sekcja zwłok jest przeprowadzana w celu określenia przyczyny zgonu, doznanych obrażeń ciała oraz mechanizmu ich powstania. Uzupełnieniem badania pośmiertnego są badania obrazowe, w tym PMCT. Poszerzeniem tej techniki jest pośmiertna angiografia tomografii komputerowej (post-mortem computed tomography angiography – PMCTA), która charakteryzuje się wysoką czułością w identyfikacji istotnych zmian naczyniowych i uszkodzeń narządów, jednak ze względu na dłuższy czas trwania, trudności techniczne stosuje się ją głównie jako badanie ukierunkowane w praktyce sądowo-lekarskiej [1].

Dynamiczny rozwój technologii tomografii komputerowej (computed tomography – CT) daje nieograniczone możliwości diagnostyki bardzo małych zmian, ich rekonstrukcji i zobrazowania w każdej płaszczyźnie. W nowoczesnych aparatach CT osiągnięcie grubości warstwy takiej jak 0,3 mm nie stanowi żadnego problemu co znacznie zwiększa możliwości diagnostyczne i jednocześnie zmniejsza możliwości przeoczenia zmian urazowych czy chorobowych. Dodatkowe użycie środków kontrastowych, które podawane są z odpowiednią prędkością przy użyciu dedykowanej do tego pompy zwiększa skuteczność obrazowania narządów mięszowych, naczyń krwionośnych, ich budowy i ewentualnych uszkodzeń. Z wykonaniem badania CT wiąże się także możliwość wykonania wizualizacji w przestrzeni dwuwymiarowej (2D), trójwymiarowej (3D) i rekonstrukcji wielopłaszczyznowych (multiplanar reformatted reconstructions – MPR), przy czym każdy z tych rodzajów obrazu ma swoje zastosowanie. Wizualizacje 2D są szczególnie przydatne w radiologicznej ocenie badania PMCT, umożliwiając wskazanie konkretnych szczegółów i zmian anatomicznych. Rekonstrukcje MPR pozwalają na uwidocznienie narządów w trzech płaszczyznach, a wizualizacje 3D pozwalają na tworzenie obrazów przestrzennych, w sposób bardziej zrozumiały przedstawiających zmiany w narządach dla osób nie związanych z medycyną – na przykład prokuratorów. Zdjęcia wizualizacji 3D umożliwiają wykonanie dokumentacji stanowiącej dowód w sprawie [2].

Wyniki badań PMCT mogą być przechowywane w formacie plików obrazów i rekonstrukcji zgodnych z normą DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine), długo po zakończonym badaniu, mogą być zatem później użyte w celu kompleksowej rekonstrukcji zdarzenia. Jednocześnie uzyskane w badaniach obrazy wraz z ich prawidłową interpretacją mogą zostać użyte do opracowania algorytmów sztucznej inteligencji co pozwoli w przyszłości na zwiększenie efektywności wykonywanych badań PMCT.

The aim of the work

The aim of the study is to present the use of computed tomography in post-mortem examinations based on the literature.

Literature review

Despite the advantages mentioned in the introduction, the use of post-mortem computed tomography has its limitations. This is particularly important in the case of post-mortem processes, which can mimic antemortem traumatic or pathological changes in CT images.

Cartocci et al. believe that radiological imaging using PMCT as a complement to autopsy in advanced decomposition is a useful tool. However, correct data interpretation is essential to avoid errors in the interpretation of radiological images resulting from natural decomposition processes [3]. Filograna et al. analyzed radiological images of the lungs in PMCT also in the aspect of post-mortem changes. They found that over time, a common symptom is the increase of congestion in the lungs and post-mortem 'edema,' which is the result of a pressure gradient between the pulmonary vessels and the alveolar spaces, and changes in capillary permeability. In PMCT scans, this corresponds to an increase in tissue absorption (from ground-glass opacity to consolidation), which results in an increase in the linear attenuation coefficient of X-rays. According to the authors, the PMCT lung image is also influenced by the development of early signs of death (rigor mortis of the intercostal muscles), regional differences in air distribution, and changes in the vascular bed (passive congestion). The distribution of air and blood volume in the lungs is also influenced by the position of the diaphragm, which in the early postmortem period corresponds to the resting level of exhalation, and then, as gas forms in the abdominal cavity, it is pushed towards the chest [4].

Vester et al. found that PMCT enables precise identification of the damaged area and simultaneously limits the postmortem examination to this region to reconstruct the wound channel and find bullet fragments. On the other hand, if the radiologist does not have all the information obtained during the autopsy, in 16.1% of cases, they do not notice pathological changes outside the main area of damage. Therefore, to draw the radiologist's attention to areas where traumatic changes are poorly visible during external examination, it is recommended to use markers with a high absorption rate in these areas [5]. Dong et al. consider PMCT to be more effective than autopsy in diagnosing such traumatic changes as bone fractures [6]. Similarly, di Paolo et al. found that PMCT is a sensitive tool for detecting and classifying high-energy skeletal injuries [7]. From a forensic medical point of view, studies on isolated type I and III occipital condyle fractures have proven to be signifi-

Cel pracy

Celem pracy jest przedstawienie wykorzystania tomografii komputerowej w badaniu pośmiertnym na podstawie piśmiennictwa.

Przegląd literatury

Pomimo wskazanych we wstępie zalet zastosowanie pośmiertnej tomografii komputerowej ma swoje ograniczenia. Jest to szczególnie istotne w przypadku procesów pośmiertnych, które mogą imitować w obrazach tomografii komputerowej zażyłcienne zmiany urazowe lub chorobowe.

Cartocci i wsp. uważają, że obrazowanie radiologiczne metodą PMCT jako uzupełnienie sekcji zwłok w zaawansowanym stanie rozkładu stanowi przydatne narzędzie, jednak prawidłowa interpretacja danych jest niezbędna do uniknięcia pomyłek w czasie interpretacji obrazów radiologicznych wynikających z procesów naturalnego rozkładu [3]. Filograna i wsp. analizowali obrazy radiologiczne płuc w PMCT także w aspekcie przemian pośmiertnych. Ustalili, że wraz z upływem czasu częstym objawem jest narastanie zastoju w płucach i pośmiertny „obrzęk”, który jest wynikiem gradientu ciśnień pomiędzy naczyniami płucnymi, a przestrzeniami pęcherzykowymi i zmianą przepuszczalności naczyń włosowatych. W skanach PMCT odpowiada to wzrostowi pochłaniania tkanek (od typu matowej szyby do konsolidacji) co daje wzrost liniowego współczynnika osłabienia promieniowania rentgenowskiego. Na obraz płuc w PMCT mają także wpływ według autorów rozwijanie się wczesnych znamion śmierci (stężenie pośmiertne mięśni międzyżebrowych), regionalne różnice w dystrybucji powietrza i zmiany w łożysku naczyniowym (przekrwienie bierne). Na rozkład objętości powietrza i krwi w płucach ma także wpływ położenie przepony, które we wczesnym okresie pośmiertnym odpowiada spoczynkowemu poziomowi wydechu a następnie, wraz z tworzeniem się w jamie brzusznej gazu jest wypychana w kierunku klatki piersiowej [4].

Vester i wsp. stwierdzili, że PMCT pozwala na dokładne zidentyfikowanie uszkodzonego obszaru i jednocześnie do ograniczenia badania pośmiertnego tylko do tej okolicy w celu odtworzenia kanału rany oraz odnalezienia fragmentów pocisku. Z drugiej strony jeżeli radiolog nie dysponuje wszystkimi informacjami uzyskanymi w czasie sekcji zwłok, to w 16,1% przypadków nie zwraca uwagi na zmiany patologiczne znajdujące się poza głównym obszarem uszkodzeń. Dlatego też, aby zwrócić uwagę radiologa na obszary, w których zmiany urazowe w czasie oględzin zewnętrznych są słabo widoczne zaleca się stosowanie markerów o wysokim stopniu pochłaniania w tych okolicach [5]. Dong i wsp. uważają badanie PMCT za skuteczniejsze od badania sekcyjnego w rozpoznaniu takich zmian urazowych jak złamanie kości [6]. Podobnie jak di Paolo i wsp. którzy stwierdzili, że PMCT jest czułym narzędziem do wykrywania

cant. The research by Borowska-Solonyko et al. showed that the diagnosis of such fractures is possible only through the use of post-mortem computed tomography examinations, and the obtained images can be helpful in determining the mechanism of injury indicative of high-energy impact on the body, e.g. axially, which is useful in event reconstruction [8]. Similarly, studies on traumatic changes in the transverse processes of thoracic vertebrae provide additional data for differentiating between drivers and passengers of motor vehicles and determining the height of a fall [9].

Moskała et al. compared the results of forensic autopsies of traffic accident victims with combined results from autopsies and post-mortem computed tomography (PMCT). They found a statistically significant increase in the detection of pneumothorax and fractures of the skull, spine, clavicle, scapula, and lower leg bones when using PMCT. However, for injuries to parenchymal organs and soft tissues, statistical analysis did not confirm the benefits of using PMCT [10]. According to Sholing et al., current studies do not provide conclusive evidence that PMCT is a reliable alternative to autopsy in cases of traumatic deaths. Therefore, PMCT should be used as a complementary tool rather than a substitute for autopsy, as it can detect additional traumatic changes that might be missed due to anatomical location or the need to extend traditional autopsy techniques. Indeed, to properly evaluate the complementary or substitutive role of PMCT in post-mortem examinations of traumatic deaths, well-designed and extensive studies are necessary [11]. In the studies conducted by Juźwik et al., it was found that PMCT is more effective in demonstrating the absence of organ damage or the absence of blood than in identifying pathological post-traumatic changes in internal organs. However, the authors emphasize that in cases of more severe damage to internal organs in the abdominal cavity and the presence of larger amounts of blood, the effectiveness of PMCT significantly increases. These findings suggest a potential role for PMCT as an initial screening tool in detecting abdominal organ injuries. This approach could precede traditional autopsy, allowing for preliminary identification and adjustment of autopsy techniques based on the extent of detected injuries or their absence [12]. Norzailin et al. reached similar conclusions, noting that for liver and spleen injuries, PMCT is not accurate enough to be considered a substitute for forensic autopsy. However, it remains a useful complementary tool [13]. Okumura et al., on the other hand, demonstrated that in PMCT, the presence of gas near the liver surface or focally within the liver, as well as the accumulation of high-density fluid around the liver in cases of liver injury, have limited usefulness. However, a useful indirect sign suggesting liver damage is the fracture of the right lower rib [14].

i klasyfikacji urazów układu kostnego o wysokiej energii [7]. Z medyczno-sądowego punktu widzenia istotne okazały się badania dotyczące izolowanych złamań kłykci potylicznych typu I oraz III. Badania Borowskiej -Solonyko i wsp. wykazały, że rozpoznanie tego typu złamań jest możliwe tylko i wyłącznie dzięki zastosowaniu badań pośmiertnej tomografii komputerowej, a uzyskane obrazy mogą być pomocne w ustaleniu mechanizmu urazu świadczącego o zadziałaniu dużej energii działającej na ciało np. osiowo, co jest przydatne w rekonstrukcji zdarzenia [8]. Podobnie jak badania dotyczące zmian urazowych wyrostków poprzecznych kręgów piersiowych pozwalają na uzyskanie dodatkowych danych różnicujących kierowców i pasażerów pojazdów mechanicznych oraz ustalaniu wysokości upadku [9].

Moskała i wsp. porównali wyniki sądowo-lekarskich sekcji zwłok ofiar wypadków komunikacyjnych z połączonymi wynikami sekcji zwłok i PMCT, stwierdzając, że istotny statystycznie wzrost liczby rozpoznań sekcyjnych dotyczył odmy płucnowej oraz złamań czaszki, kręgosłupa, obojczyka, łopatki i kości podudzi. Natomiast w przypadku uszkodzeń narządów mięszo-wych i tkanek miękkich analiza statystyczna nie potwierdziła korzyści ze stosowania PMCT [10]. Zdaniem Sholing i wsp. aktualne badania nie dostarczają jednoznacznych dowodów na to, że PMCT jest wiarygodną alternatywą dla sekcji zwłok w przypadku zgonów urazowych. Dlatego też PMCT powinno być używane jako narzędzie uzupełniające niż jako alternatywa dla sekcji zwłok, wykrywając dodatkowe zmiany urazowe, które mogły zostać nie zauważone ze względu na położenie anatomiczne czy konieczność poszerzenia tradycyjnej techniki sekcyjnej. Jednak w celu oceny funkcji uzupełniającej czy też zastępczej PMCT w badaniach pośmiertnych zgonów urazowych, konieczne są dobrze zaplanowane i obszerne badania [11]. Natomiast w badaniach Juźwik i wsp. stwierdzono, że badanie PMCT jest skuteczniejsze w wykazywaniu braku uszkodzeń narządu lub braku obecności krwi niż identyfikowaniu patologicznych zmian pourazowych narządów wewnętrznych. Niemniej jednak, autorzy podkreślają, że w przypadku poważniejszych uszkodzeń narządów wewnętrznych jamy brzusznej i obecności większej ilości krwi, skuteczność PMCT znacząco wzrasta. Takie wyniki sugerują potencjalną rolę techniki PMCT jako pierwszego etapu badania przesiewowego w wykrywaniu obrażeń narządów jamy brzusznej. Badanie mogłoby poprzedzać tradycyjną sekcję zwłok, umożliwiając wstępną identyfikację i dostosowanie techniki sekcji do zakresu stwierdzonych obrażeń lub ich braku [12]. Podobne konkluzje podał Norzailin i wsp. stwierdzając, że w przypadku uszkodzeń wątroby i śledziony badanie PMCT nie jest na tyle dokładne aby traktować je zamiennie z sądowo-lekarską sekcją zwłok, jest to jednak przydatne badanie uzupełniające [13]. Z kolei Okumura i wsp. wykazali, że w PMCT obecność gazu przy powierzchni wątroby lub ogniskowo wewnątrzwątrobowo i nagromadzenie płynu o dużej gęstości wokół wątroby w przypadku uszkodzeń tego narządu mają ograniczoną przydatność. Natomiast użytecznym objawem pośrednim sugerującym uszkodzenia wątroby jest złamanie prawego dolnego żebra [14].

Del Fante et al. demonstrated that PMCT has greater accuracy and reliability in identifying pneumothorax compared to traditional post-mortem examinations [15]. Borowska-Solonyńko's studies demonstrated the usefulness of PMCT in identifying gas accumulation in the venous and arterial vessels of the head, torso, and limbs, as well as in the heart chambers and between muscles in individuals who committed suicide using helium [16]. The same team found that the presence of intracranial gas is a poor prognostic indicator for patient survival and is often accompanied by gas in the right heart chamber and spinal canal. Additionally, the presence of gas in the brain vessels was also observed in cases of neck and chest injuries, indicating that these injuries were sustained while the individual was still alive. PMCT has proven essential in the comprehensive assessment of laryngeal structures. This imaging technique not only enhances the detection of injuries but also makes it possible to identify gas vesicles in the soft tissues of the neck. This finding is considered a diagnostic element of neck trauma in cases where the body has not undergone decomposition. Schultze et al. described this sign, which can also aid in clinical forensic medicine as evidence of attempted strangulation [17].

Woźniak et al. conducted studies on the impact of PMCT on the scope of post-mortem examinations and its extension to reveal changes difficult to recognize during a typical forensic autopsy. They found that evaluating CT images before autopsy, particularly for locating metallic foreign bodies (e.g. bullets), generally facilitated their efficient identification and extraction. However, for smaller objects, even with known locations, the use of fluoroscopy was additionally helpful. The authors emphasize that analyzing air spaces for unusual locations allowed more precise planning of traditional tests to demonstrate the presence of air in the heart chambers or pleural cavities. CT images enabled not only the qualitative assessment of such phenomena but also the visualization of their extent [18, 19]. Del Fante et al. emphasize that PMCT should be used in every case of death resulting from gunshot wounds, serving as an excellent complement to traditional forensic examinations. In their study, post-mortem CT confirmed several advantages, such as objectivity, repeatability, ease of visualizing the gunshot wound track, and precise localization of the bullet and its fragments. Therefore, the authors suggest that post-mortem imaging should be an additional diagnostic element rather than an alternative to traditional post-mortem examinations [15].

De Bakker et al. believe that PMCT is applicable in cases of fire-related deaths. This imaging technique allows for the assessment of soft tissues, bone structures, and the localization of foreign bodies and gases. In their studies, PMCT enabled the description of pseudo-hematomas and "pseudo-hernias," which involve the protrusion of the brain into a thermal rupture of the dura mater. The authors also described the appearance of a "dense, marginal band" in cases where organs such

Del Fante i wsp. wykazali większą dokładność i wiarygodność PMCT w identyfikacji odmy opłucnowej w porównaniu do badania pośmiertnego [15]. Badania Borowskiej-Solonyńko wykazały przydatność badania PMCT do określania kumulacji gazu w naczyniach żylnych i tętniczych głowy, tułowia i kończyn, a także w komorach serca i między mięśniami u osób, które popełniły samobójstwo przy użyciu helu [16]. Badania tego samego zespołu dotyczące śródczaszkowej obecności gazu wykazały, że objaw ten źle rokuję co do przeżycia pacjenta i często towarzyszy mu obecność gazu w prawej komorze serca oraz w kanale kręgowym. Ponadto obecność gazu zlokalizowanego w naczyniach mózgu autorzy stwierdzili także w przypadkach urazów szyi i klatki piersiowej co świadczy o zażyciowości doznania obrażeń. Badania PMCT okazały się niezbędne w kompleksowej ocenie struktury krtani. Badanie to nie tylko poprawia wykrywalność uszkodzeń, ale także pozwala na wykrycie obecności pęcherzyków gazu w tkankach miękkich szyi, co autorzy traktują jako element diagnostyczny przebytego urazu szyi, w przypadkach zwłok nie dotkniętych przemianami gnilnymi. Opisany przez Schultze i wsp. objaw może pomóc także w klinicznej medycynie sądowej stanowiąc dowód przebytego nieudanego zagardlenia [17].

Woźniak i wsp. przeprowadzili badania dotyczące wpływu PMCT na zakres badania pośmiertnego oraz jego poszerzenie celem ujawnienia zmian trudnych do rozpoznania w przebiegu typowej sądowno-lekarskiej sekcji zwłok. Okazało się iż ocena obrazu CT przed sekcją zwłok, dotycząca lokalizacji ciał obcych metalicznych (np. pocisków), w większości przypadków skutkowało możliwością sprawnego ich odnalezienia i wydobywania, jednakże przy mniejszym rozmiarze, pomimo znanej lokalizacji, dodatkowo pomocne było zastosowanie fluoroskopii. Autorzy podkreślają, że analiza przestrzeni powietrznych pod kątem wykazania nietypowych lokalizacji, pozwoliła na precyzyjniejsze zaplanowanie klasycznych prób w celu wykazania obecności powietrza, w jamach serca, lub w jamach opłucnowych. Obrazy CT pozwoliły na określenie „jakościowe” takiego zjawiska, ale także na zobrazowanie jego rozległości [18, 19]. Del Fante i wsp. podkreślają, że PMCT powinno być stosowane w każdym przypadku zgonu w wyniku postrzału, stanowiąc bardzo dobre uzupełnienie tradycyjnych badań sądowno-lekarskich. W opisanym przez autorów przypadku badania pośmiertne CT potwierdziły zalety badania takie jak: obiektywność, powtarzalność, łatwość wizualizacji kanału rany postrzałowej oraz precyzyjną lokalizację pocisku i jego fragmentów. Dlatego też zdaniem autorów obrazowanie pośmiertne stanowić powinno dodatkowy element diagnostyczny, a nie alternatywę dla tradycyjnych badań pośmiertnych [15].

De Bakker i wsp. uważają, że PMCT ma zastosowanie w przypadku zgonów w pożarze. Badanie to umożliwia ocenę tkanek miękkich, struktur kostnych oraz lokalizację ciał obcych i gazów. Badanie PMCT w badanych przypadkach pozwoliło na opisanie krwiaków rzekomych, „przepukliny rzekomej” polegającej na uwypukleniu się mózgu do otworu termicznego pęknięcia

as the lungs, liver, or brain were exposed to fire, as well as the presence of small intramedullary gas collections in the bone marrow spaces, which were exposed due to high temperatures and flames. According to the authors, performing PMCT before the actual autopsy is a valuable complement to the examination [20].

Gotsmy et al. attempted to evaluate the stomach contents of drowning victims using PMCT, identifying the presence of three layers in the stomach contents as a diagnostic hint of drowning. The authors noted that discrepancies in the number of observed layers between PMCT and autopsy are common, likely due to the autopsy technique, sample handling, and movement of the body before examinations. According to the authors, the observation of a three-layer arrangement of stomach contents in PMCT images can be interpreted as potential evidence of drowning [21]. The studies by Kawasumi et al. on drowning victims using PMCT revealed significant differences in the volume and density of fluid in the maxillary and sphenoid sinuses compared to other causes of death [22]. The studies of Homma et al. on the application of deep learning methods using a deep convolutional neural network (DCNN) to analyze PMCT images of 140 drowning victims appear very promising. Their system classifies PMCT images into two categories: drowning and non-drowning [23].

Indeed, PMCT alone may not be sufficient to visualize vascular damage or pathological changes due to its low sensitivity. However, it can be complemented by post-mortem CT angiography (PMCTA), which provides additional data on wound tracks and damaged anatomical structures. Moskała et al. highlight that PMCT is particularly valuable for assessing vascular injuries in hard-to-reach locations, such as the abdominal cavity and vertebral arteries [24]. PMCTA involves injecting contrast media (CM) into the vascular system to enhance the diagnostic power of PMCT. A challenge with using CM is its water solubility, which causes it to quickly spread to adjacent tissues. Therefore, it should first be dissolved in a high-viscosity solvent (e.g. polyethylene glycol) or alternatively, an oil-based mixture can be used. Another proposed solution is a mixture of paraffin oil and 6% Angiofil[®], which appears to have balanced properties [25]. To better visualize the vascular system, various post-mortem CT angiography (PMCTA) techniques have been studied, which can be divided into partial and whole-body angiography techniques. The most commonly used technique is multiphase post-mortem CT angiography (MPMCTA), a standardized method for examining the vessels of the head, chest, and abdomen. There are various studies describing the application of PMCTA in forensic investigations, its advantages, as well as artifacts and pitfalls. To investigate the effectiveness of PMCTA and to develop and validate techniques, an international working group called the "Technical Working Group on Post-Mortem Angiography Methods" was established in 2012. Based on their research, two most commonly used PMCTA techniques were identified: multiphase

opony twardej. Autorzy opisali także obraz „gęstego, granicznego pasma” w przypadkach, narażenia takich narządów jak płuca, wątroba lub mózg na działanie ognia oraz obecność małych śródkostnych zbiorników gazu w przestrzeniach szpikowych kości, które zostały odstonięte w wyniku działania wysokiej temperatury i płomienia. Zdaniem autorów wykonanie badania PMCT przed właściwą sekcją zwłok stanowi jej wartościowe uzupełnienie [20].

Gotsmy i wsp. podjęli próbę oceny zawartości żołądka ofiar utonięcia z wykorzystaniem PMCT wskazując, na obecność trzech warstw w zawartości żołądka jako wskazówki diagnostycznej wskazującej na utonięcie. Autorzy stwierdzili, że różnice w liczbie obserwowanych warstw treści żołądkowej między badaniami PMCT, a sekcją zwłok są często spotykanym zjawiskiem, prawdopodobnie wynikającym z samej techniki sekcyjnej i zabezpieczania materiału do badań oraz przemieszczaniem ciała przed badaniami. Zdaniem autorów stwierdzenie w obrazach PMCT trójwarstwowego ułożenia treści żołądkowej, może być interpretowane jako potencjalny dowód na utonięcie [21]. Badania Kawasumi i wsp. ofiar utonięć w PMCT dotyczące gęstości oraz objętości płynu znajdującego się w zatoce szczękowej i zatokach klinowych wykazały istotne różnice w porównaniu do innych mechanizmów zgonu [22]. Znacznie bardziej obiecujące wydają się badania Homma i wsp. dotyczące zastosowania metody głębokiego uczenia w systemie sieci neuronowej o głębokim splocie (deep convolution neural network – DCNN) do analizy obrazów PMCT 140 przypadków ofiar utonięcia. System ten kwalifikuje obrazy PMCT na dwie kategorie: utonięcie i nieutonięcie [23].

Uważa się, że badanie PMCT nie jest wystarczające do uwidocznienia uszkodzenia, czy zmian chorobowych naczyń ze względu na bardzo niską czułość metody. Uzupełnieniem badania PMCT może być angiografia (post-mortem CT-angiography – PMCTA), która może między innymi dostarczać dodatkowych danych dotyczących np. kanałów rany, czy uszkodzonych struktur anatomicznych. Zdaniem Moskały i wsp. szczególna wartość tego badania dotyczy oceny uszkodzeń naczyń krwionośnych w trudno dostępnych lokalizacjach, takich jak jama brzuszna czy tętnice kręgowie. [24]. PMCTA polega na wstrzyknięciu środka kontrastowego (contrast media-CM) do układu naczyniowego w celu zwiększenia siły diagnostycznej badania PMCT. Problemem w zastosowaniu CM jest jego rozpuszczalność w wodzie, ponieważ szybko rozprzestrzenia się do sąsiednich tkanek. Dlatego też należy go najpierw rozpuścić w rozpuszczalniku o wysokiej lepkości (np. glikolu polietylenowym) lub alternatywnie zastosować mieszaninę olejową. Inną propozycją jest mieszanina oleju parafinowego i 6% Angiofilu[®], która wydaje się mieć zrównoważone właściwości [25]. Aby lepiej uwidocznili układ naczyniowy, zbadano różne techniki pośmiertnej angiografii CT, które można podzielić na techniki angiografii części i całego ciała. Najczęściej stosowaną techniką jest wielofazowa pośmiertna angiografia CT (multiphase post-mortem CT-angiography – MPMCTA) – standaryzowana

post-mortem CT-angiography (MPMCTA) and PMCTA using a water-soluble contrast agent and polyethylene glycol. In Lausanne, a research group was also established with the task of defining a protocol for high-quality PMCTA [26, 27]. Moskała et al. conducted a comparative analysis of post-mortem computed tomography with multiphase post-mortem CT angiography (MPMCTA) in cases of stab and cut wounds, compared to traditional forensic autopsies. Their findings indicated that PMCTA is a valuable tool for providing additional, significant data that influence final conclusions. It adds a new dimension to documenting autopsy observations, such as the length of wounds, their location, and the identification of damaged structures. This is particularly important for wounds in areas that are difficult to assess [24]. Vogel et al. studied the usefulness of PMCT and PMCTA in cases of deaths following transvascular cardiac interventions. They found that these imaging techniques make it possible to visualize bleeding, including pericardial tamponade, its source, and the amount of extravasated blood. They also enable the assessment of catheter paths and the presence or absence of air vesicles in the coronary vessels post-procedure. The authors believe that in isolated cases, such examinations could replace traditional autopsies [28].

Ampanozi et al. evaluated the reliability of measuring the volume of blood extravasated into the abdominal cavity in PMCT compared to classical forensic autopsy as reliable and concluded that the virtual blood volume assessment method is an alternative to the classical autopsy procedure in cases where an autopsy is not or cannot be performed and does not significantly differ from the measurement results during an autopsy. The authors concluded that this method can be used in cases where PMCTA could interfere with autopsy results regarding the volume of blood in the abdominal cavity caused, for example, by extravasated CM [29].

Attempts are also being made to evaluate the results of PMCT studies in children, depending on the cause of death. The studies by Shimbasi et al. focused on assessing changes observed in the chest and lungs of infants in PMCT in various types of death, while simultaneously showing no abnormalities in histopathological examination [30]. Edwards et al., comparing the results of PMCT to post-mortem examination in a group of 26 children aged 0-12 years, found that significantly more changes were identified during autopsy compared to PMCT. The most significant changes were detected by both methods; however, PMCT proved to be more useful in detecting bone changes in children. No statistical difference was found between the two methods in determining the cause of death [31].

metoda badania naczyń głowy, klatki piersiowej i brzucha. Istnieją różne badania opisujące jego zastosowanie w badaniach medyczno-sądowych oraz jego zalety, a także artefakty i pułapki. W celu zbadania skuteczności PMCTA oraz opracowania i walidacji technik, w 2012 roku utworzono międzynarodową grupę roboczą o nazwie „Techniczna Grupa Robocza ds. Metod Angiografii Pośmiertnej”. Na podstawie badań ustalono dwie najczęściej stosowane techniki PMCTA: wielofazową (multiphase post-mortem CT-angiography – MPMCTA) oraz PMCTA z użyciem rozpuszczalnego w wodzie środka kontrastowego i glikolu polietylenowego. W Lozannie także została utworzona grupa badawcza, której zadaniem jest między innymi zdefiniowanie protokołu dla wysokiej jakości PMCTA. [26, 27]. Badania Moskały i wsp. dotyczące analizy porównawczej pośmiertnych badań tomografii komputerowej z wielofazową angiografią (MPMCTA) w przypadku ran kłutych oraz ciętych, w konfrontacji sądowo-lekarskich sekcji zwłok wykazały, że PMCTA jest przydatnym narzędziem w zakresie dodatkowych, istotnych danych mających wpływ na wnioski końcowe i dodaje nową jakość do dokumentowania obserwacji sekcyjnych takich jak długość ran, ich położenie, lokalizację uszkodzonych struktur. Jest to szczególnie istotne w przypadku ran w rejonach trudnych do oceny [24]. Vogel i wsp. badali przydatność PMCT i PMCTA w przypadkach zgonów po przeznaczeniowych interwencjach kardiologicznych. Stwierdzili, że badania te pozwalają na wizualizację krwawienia, w tym tamponady worka osierdziowego, jego źródła i ilości wynaczynionej krwi, pozwalają na ocenę przebiegu cewników oraz obecności lub braku pęcherzyków powietrza w naczyniach wieńcowych – po przebyłym zabiegu. Autorzy uważają, że badania takie w odosobnionych przypadkach mogą zastąpić sekcję zwłok [28].

Ampanozi i wsp. ocenili wiarygodność pomiaru objętości krwi wynaczynionej do jamy brzusznej w PMCT w stosunku do klasycznej sądowo-lekarskiej sekcji zwłok jako wiarygodne i uznali, że metoda wirtualnej oceny objętości krwi stanowi alternatywę dla klasycznej procedury sekcji zwłok w przypadkach, gdy sekcja zwłok nie jest lub nie może być wykonana i nie odbiega istotnie wyników pomiaru podczas sekcji zwłok. Autorzy uznali, że metodę tę można zastosować w przypadkach, gdy PMCTA mogłoby zakłócić wyniki sekcji zwłok dotyczące objętości krwi w jamie brzusznej spowodowane np. wynaczynionym CM [29].

Podejmowane są także próby oceny wyników badań PMCT u dzieci, w zależności od przyczyny zgonu. Badania Shimbasi i wsp. dotyczyły oceny zmian stwierdzonych w klatce piersiowej i płucach niemowląt w PMCT w różnych rodzajach śmierci, przy równoczesnym braku nieprawidłowości w badaniu histopatologicznym [30]. Edwards i wsp. porównując wyniki badania PMCT do badania pośmiertnego grupy 26 dzieci w wieku 0-12 lat stwierdził, że w czasie sekcji zwłok rozpoznano znacznie więcej zmian w porównaniu do badania PMCT. Zmiany najbardziej istotne stwierdzono w obu zastosowanych metodach, jednak PMCT okazało się jednak bardziej przydatne w wykrywaniu zmian kostnych u dzieci. Nie stwierdzono statystycznej

Currently used CT scanners enable the examination of the entire corpse in a short time. The CT image of the whole body obtained in the examination eliminates or greatly reduces the possibility of missing any changes. On the other hand, the differences in CT images resulting from post-mortem processes, which mimic antemortem traumatic or pathological changes, require close cooperation with forensic doctors. Therefore, the ideal solution would be to create interdisciplinary teams consisting of forensic doctors, radiologists, and radiology technicians to fully utilize the functionality and capabilities of PMCT.

Conclusions

1. PMCT should be used as a complementary tool, not as an alternative to autopsy, detecting additional changes that may have been overlooked due to anatomical location or the need to expand traditional autopsy techniques.
2. Given the rapid and dynamic development of CT equipment and virtually unlimited diagnostic possibilities, it is advisable to create interdisciplinary teams consisting of radiologists, radiology technicians, and forensic doctors to fully utilize the functionality and capabilities of PMCT/PMCTA.
3. The ability to save 3D images and reconstructions from PMCT examinations is very helpful in creating imaging documentation for forensic medical opinions.
4. There is a need to develop standards for the assessment of PMCT images, which will enable further development of virtual autopsy techniques in the field of forensic medicine, supported by artificial intelligence.

różnicy pomiędzy tymi dwoma metodami w ustalaniu przyczyny zgonu [31].

Aktualnie stosowane aparaty CT dają możliwość wykonania badania całego obszaru zwłok w krótkim czasie. Uzyskany w badaniu CT obraz całych zwłok eliminuje lub w bardzo dużej mierze ogranicza możliwość przeoczenia jakichkolwiek zmian. Z drugiej strony odmiennosc obrazów tomografii komputerowej wynikająca z procesów pośmiertnych, imitujących zażyciowe zmiany urazowe czy chorobowe wymaga ścisłej współpracy z medykami sądowymi. Dlatego też idealnym rozwiązaniem byłoby stworzenie zespołów interdyscyplinarnych złożonych z medyków sądowych, radiologów i techników elektroradiologii, aby w pełni wykorzystać funkcjonalność i możliwości PMCT.

Wnioski

1. Badanie PMCT powinno być używane jako narzędzie uzupełniające, a nie jako alternatywa dla sekcji zwłok, wykrywając dodatkowe zmiany, które mogły zostać nie zauważone ze względu na położenie anatomiczne czy konieczność poszerzenia tradycyjnej techniki sekcyjnej.
2. Wobec szybkiego i dynamicznego rozwoju aparatury do CT i praktycznie nieograniczonych możliwości diagnostyki, wskazane jest stworzenie zespołów interdyscyplinarnych złożonych z radiologów i techników elektroradiologii oraz lekarzy medycyny sądowej aby w pełni wykorzystać funkcjonalność i możliwości PMCT/PMCTA.
3. Możliwość zapisywania obrazów 3D i rekonstrukcji z badania PMCT jest bardzo pomocna w tworzeniu dokumentacji obrazowej do opinii sądowo-lekarskich.
4. Istnieje potrzeba opracowania standardów oceny obrazów zmian w PMCT, co pozwoli na dalszy rozwój technik wirtualnej autopsji w dziedzinie medycyny sądowej, wspomaganą sztuczną inteligencją.

References | Piśmiennictwo

1. Ampanozi G, Halbheer D, Ebert LC, Thali MJ, Held U. Postmortem imaging findings and cause of death determination compared with autopsy: a systematic review of diagnostic test accuracy and meta-analysis. *Int J Legal Med.* 2020;134:321–337. doi: 10.1007/s00414-019-02140-y.
2. Ebert LC, Franckenberg S, Sieberth T, Schweitzer W, Thali M, Ford J, Decker S. A review of visualization techniques of post-mortem computed tomography data for forensic death investigations. *Int J Legal Med.* 2021 Sep;135(5):1855–1867. doi: 10.1007/s00414-021-02581-4. Epub 2021 Apr 30. PMID: 33931808; PMCID: PMC8354982.
3. Cartocci G, Santurro A, Neri M, Zaccagna F, Catalano C, La Russa R, Turillazzi E, Panebianco V, Frati P, Fineschi V. Post-mortem computed tomography (PMCT) radiological findings and assessment in advanced decomposed bodies. *Radiol Med.* 2019 Oct;124(10):1018–1027. doi: 10.1007/s11547-019-01052-6. Epub 2019 Jun 28. PMID: 31254219.
4. L. Filograna, Michael J. Thali. Post-mortem CT imaging of the lungs: pathological versus non-pathological findings CHEST RADIOLOGY Volume 122, pages 902–908, (2017)
5. Vester MEM, Nolte KB, Hatch GM, Gerrard CY, Stoel RD, van Rijn RR. Postmortem Computed Tomography in Firearm Homicides: A Retrospective Case Series. *J Forensic Sci.* 2020 Sep;65(5):1568–1573. doi: 10.1111/1556-4029.14453. Epub 2020 May 13. PMID: 32402110; PMCID: PMC7496672.
6. Dong HW, Sun Y, Qian H, Jian JQ, Shao Y, Li ZD, Zou DH, Liu NG, Wan L, Wang MW, Chen YJ, Zhang JH. Research Progress on Postmortem Changes of Computed Tomography Imaging Characteristics on Corpses. *Fa Yi Xue Za Zhi.* 2019 Dec; 35(6):716–720. English, Chinese. doi: 10.12116/j.issn.1004-5619.2019.06.013. Epub 2019 Dec 25. PMID: 31970960.
7. M. Di Paolo1, A. Maiese1, M. dell'Aquila3., C. Filomena1, S. Turco1, C. Giaconi2, E. Turillazzi Role of post mortem CT (PMCT) in high energy traumatic deaths *Clin Ter* 2020; 171 (6):e490-500. doi: 10.7417/CT.2020.2263
8. Borowska-Solonyanko A, Prokopowicz V, Samońłowicz D, Brzozowska M, Żyłkowski J, Lombarski L. Isolated condylar fractures diagnosed by post mortem computed tomography. *Forensic Sci Med Pathol.* 2019 Jun;15(2):218–223. doi: 10.1007/s12024-019-00104-7. Epub 2019 Mar 12. PMID: 30859375; PMCID: PMC6505491.
9. Borowska-Solonyanko A, Prokopowicz V. Transverse process fractures of the thoracic vertebrae—the significance of this injury in the context of medicolegal opinions on high-energy trauma cases. *Int J Legal Med.* 2020 Jul;134(4):1431–1440. doi: 10.1007/s00414-019-02161-7. Epub 2019 Sep 16. PMID: 31529273; PMCID: PMC7295837.
10. Artur Moskała, Krzysztof Woźniak, Piotr Kluza, Karol Romaszko, Oleksij Lopatin, The importance of post-mortem computed tomography (PMCT) in confrontation with conventional forensic autopsy of victims of motorcycle accidents, *Legal Medicine*, Volume 18, 2016, Pages 25–30.
11. Scholing M, Saltzherr TP, Fung Kon Jin PH, Ponsen KJ, Reitsma JB, Lameris JS, Goslings JC. The value of postmortem computed tomography as an alternative for autopsy in trauma victims: a systematic review. *Eur Radiol.* 2009 Oct;19(10):2333–41. doi: 10.1007/s00330-009-1440-4. Epub 2009 May 21. PMID: 19458952; PMCID: PMC2758189.
12. Juźwik E, Moskała A, Woźniak K, Kopacz P. Evaluation of usefulness of post-mortem computed tomography in the diagnosis of abdominal parenchymal organ injuries compared to medicolegal autopsy findings. *Arch Med Sadowej Kryminol.* 2019; 69(1-2):40–55. English. doi: 10.5114/amsik.2019.89235. PMID: 31769264.
13. Norzailin AB, Noor Azman S, Mohd Helmee MN, Khairul Anuar Z. The sensitivity, specificity and predictive values of post mortem computed tomography in detecting liver and splenic injury due to road traffic accident. *Med J Malaysia.* 2016 Feb;71(1):1–7. PMID: 27130735.
14. Okumura S, Usui A, Kawasumi Y, Odagiri H, Funayama M, Kaneta T. Diagnostic Accuracy of Liver Damage Based on Postmortem Computed Tomography Findings in High-Energy Trauma. *Tohoku J Exp Med.* 2022 Jul 22;257(4):327–332. doi: 10.1620/tjem.2022.J046. Epub 2022 Jun 10. PMID: 35691914.
15. Del Fante Z, De Matteis A, Fazio V, Di Fazio N, Quattrocchi A, Romano S, Arcangeli M, dell'Aquila M. The importance of Post Mortem Computed Tomography (PMCT) in the reconstruction of the bullet trajectory. *Clin Ter.* 2019 Mar – Apr; 170(2):e129–e133. doi: 10.7417/CT.2019.2122. PMID: 30993309.
16. Borowska-Solonyanko A, Dąbkowska A. Gas embolism as a potential cause of death by helium poisoning – Postmortem computed tomography changes in two cases of suicidal helium inhalation. *Leg Med (Tokyo).* 2018 Mar; 31:59–65. doi: 10.1016/j.legalmed.2018.01.001. Epub 2018 Jan 10. PMID: 29413991.
17. Katja Schulze, Lars Christian Ebert, Thomas Daniel Ruder, Barbara Fliss, Sebastian Alexander Poschmann, Dominic Gascho, Michael Josef Thali, Patricia Mildred Flach, The gas bubble sign—a reliable indicator of laryngeal fractures in hanging on post-mortem CT, *British Journal of Radiology*, Volume 91, Issue 1084, 1 April 2018, 20170479, <https://doi.org/10.1259/bjr.20170479>
18. Woźniak K, Moskała A., Urbanik A. et al.: Pośmiertne badania obrazowe z rekonstrukcją 3D: nowa droga rozwoju klasycznej medycyny

- sądowej? Arch. Med. Sąd. Krym., 2009, 59, 124-130.
19. Woźniak K, Moskata A, Urbanik A, Kłys M.: Pośmiertne badania obrazowe TK z rekonstrukcją 3D u ofiar wypadków drogowych. Arch. Med. Sąd. Krym., 2009, 59, 93- 100.
 20. de Bakker HM, Roelandt GHJ, Soerdjbalie-Maikoe V, van Rijn RR, de Bakker BS. The value of post-mortem computed tomography of burned victims in a forensic setting. Eur Radiol. 2019 Apr;29(4):1912-1921. doi: 10.1007/s00330-018-5731-5. Epub 2018 Oct 1. PMID: 30276675; PMCID: PMC6420456.
 21. Gotsmy W, Lombardo P, Jackowski C, Brencicova E, Zech WD. Layering of stomach contents in drowning cases in post-mortem computed tomography compared to forensic autopsy. Int J Legal Med. 2019 Jan;133(1):181-188. doi: 10.1007/s00414-018-1850-4. Epub 2018 Apr 24. PMID: 29691641.
 22. Yusuke Kawasumi, Tomoyoshi Kawabata, Yusuke Sugai, Akihito Usui, Yoshiyuki Hosokai, Miho Sato, Haruo Saito, Tadashi Ishibashi, Yoshie Hayashizaki, Masato Funayama, Diagnosis of drowning using post-mortem computed tomography based on the volume and density of fluid accumulation in the maxillary and sphenoid sinuses, European Journal of Radiology, Volume 82, Issue 10, 2013, Pages e562-e566.
 23. N. Homma et al., "A Deep Learning Aided Drowning Diagnosis for Forensic Investigations using Post-Mortem Lung CT Images," 2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC), Montreal, QC, Canada, 2020, pp. 1262-1265, doi: 10.1109/EMBC44109.2020.9175731.
 24. A.Moskata, K.Woźniak, P. Kluza, F. Bolechata, E. Rzepecka-Woźniak, J. Kołodziej, K. Latacz . Przydatność pośmiertnego badania tomografii komputerowej z angiografią (PMCTA) w sądowno-lekarskiej diagnostyce przypadków ran kłutych i ciętych. Arch. Med. Sąd. Kryminol., 2012, LXII, 315-326.
 25. Grabherr S, Doenz F, Steger B, Dirnhofer R, Dominguez A, Sollberger B, Gyax E, Rizzo E, Chevallier C, Meuli R, Mangin P (2011) Multi-phase post-mortem CT angiography: development of a standardized protocol. Int J Legal Med 125:791-802.
 26. Grabherr S, Grimm J, Dominguez A, Vanhaebost J, Mangin P. Advances in post-mortem CT-angiography. Br J Radiol. 2014 Apr;87(1036):20130488. doi: 10.1259/bjr.20130488. PMID: 24234582; PMCID: PMC4067028.
 27. Grabherr S, Doenz F, Steger B, Dirnhofer R, Dominguez A, Sollberger B, et al.. Multi-phase post-mortem CT angiography: development of a standardized protocol. Int J Legal Med 2011; 125: 791–802. doi: 10.1007/s00414-010-0526-5.
 28. Vogel B, Heinemann A, Gehl A, Hasegawa I, Höpker W, Poodendaen C et al. Post-mortem computed tomography (PMCT) and PMCT-angiography after transvascular cardiac intervention. Archiwum Medycyny Sądowej i Kryminologii/Archives of Forensic Medicine and Criminology. 2013:255-266. doi:10.5114/amsik.2013.46178.
 29. Garyfalia Ampanozi, Gary M. Hatch, Thomas D. Ruder, Patricia M. Flach, Tanja Germerott, Michael J. Thali, Lars C. Ebert, Post-mortem virtual estimation of free abdominal blood volume, European Journal of Radiology, Volume 81, Issue 9, 2012, Pages 2133-2136,
 30. Shimbashi S, Hayata R, Matoba K, Saito A, Matoba T, Takeuchi A, Jin S, Hyodoh H. Objective evaluation of chest findings in infants by postmortem computed tomography. Leg Med (Tokyo). 2023 Feb;60:102178. doi: 10.1016/j.legalmed.2022.102178. Epub 2022 Dec 5. PMID: 36495780.
 31. H Edwards, SC Shelmerdine, O.J. Arthurs Forensic post-mortem CT in children. Clin Radiol. 2023 Nov;78(11):839-847. doi: 10.1016/j.crad.2023.06.001. Epub 2023 Aug 14.

Date:

date of submission | data nadesłania **26.03.2024**
acceptance date | data akceptacji: **09.07.2024**

ORCID:

Wojciech Modzelewski: 0009-0000-5812-6181
Jacek Janica: 0000-0001-8448-3158

Corresponding author:

mgr Wojciech Modzelewski
Zakład Diagnostyki Obrazowej
Uniwersytecki Dziecięcy Szpital Kliniczny w Białymstoku
ul. Jerzego Waszyngtona 17, 15-274 Białystok
E-mail: radiolwm@wp.pl