



Metodyka badania techniką tomografii komputerowej urn kremacyjnych (popielnic)

A methodology for computed tomography scanning of cremation urns

Adrian Truszkiewicz¹, Zuzanna Bober¹, Aneta Wojtasik¹, Łukasz Ożóg², Joanna Rogóż³

¹Katedra Elekroradiologii, Instytut Pielęgniarstwa i Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Rzeszowski, Al. mjr. W. Kopisto 2 a, 35-310 Rzeszów, tel. +48 509 131 308, e-mail: atruszkiewicz@gmail.com

²Przyrodniczo-Medyczne Centrum Badań Innowacyjnych, Wydział Medyczny, Uniwersytet Rzeszowski, Al. mjr. W. Kopisto 2 a, 35-310 Rzeszów

³Zakład Nauk Przyrodniczych i Archeometrii, Instytut Archeologii, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Moniuszki 10, 35-015 Rzeszów

Wprowadzenie

Tomografia komputerowa (TK) to metoda diagnostyki obrazowej, która na dobre zadomowiła się w medycynie. Pozwala na obrazowanie struktur ciała ludzkiego z dużą rozdzielczością tkankową oraz z przedstawieniem w dowolnych rekonstrukcjach dwu- i trójwymiarowych. Z kolei technika wirtualnej endoskopii pozwala na przestrzenną, wirtualną penetrację wnętrza

obiektu, umożliwiając uwidocznienie drożności kanałów. Sztandarowym przykładem wykorzystania tej metody, w dziedzinie medycyny, jest obrazowanie w technice wirtualnej endoskopii pozwalające na bezinwazyjne uwidocznienie wnętrza jelit, drzewa oskrzelowego, naczyń krwionośnych, zatok obocznych nosa bądź innych struktur ciała. Co bardzo istotne, w tego rodzaju obrazowaniu istnieje możliwość „przejścia” przez najęszcze zwężenia, a nawet przez ewentualną przeszkodę znajdującą się

392

Streszczenie

Prace archeologiczne czy antropologiczne wiążą się z ingerencją w badane obiekty. Dobrym przykładem jest eksploracja urn z przepalonymi kośćmi. Tomografia komputerowa pozwala stworzyć i zapisać cyfrowy obraz obiektu. Jego analiza daje z kolei możliwość zaplanowania dalszego postępowania, w tym wypadku eksploracji popielnic. Celem pracy jest opracowanie metodyki badania TK, urn kremacyjnych (popielnic) tarnobrzeskiej kultury łużyckiej zawierających przepalone szczątki ludzkie. Badanie przeprowadzono na zlecenie Instytutu Archeologii Uniwersytetu Rzeszowskiego. Analiza uzyskanych danych pozwoliła opracować optymalne parametry będące podstawą do badania TK podobnych obiektów w przyszłości.

Słowa kluczowe: urny kremacyjne, pochówki ciała palne, tomografia komputerowa, badania archeologiczne i antropologiczne, tarnobrzeska kultura łużycka, przepalone kości ludzkie

Abstract

Archaeological or anthropological work involves interference in the objects studied. One clear example is the exploration of urns with burnt bones. Computed tomography enables us to create and save digital images of the objects. Analysis of such images provides in turn an opportunity for planning the next steps - in this case, for the exploration of urns. The aim of this study was to draft a methodology of CT scanning of cinerary urns of the Lusatian culture of Tarnobrzeg which contained burnt human remains. CT scans were performed upon the order of the Rzeszów University Institute of Archaeology. Analysis of the data obtained has enabled us to work out optimal parameters for future CT scanning of similar objects.

Key words: cremation vessels, burnt burial, computed tomography, archaeological and anthropological research, Lusatian culture of Tarnobrzeg, burnt human bones

otrzymano / received:

16.08.2018

poprawiono / corrected:

28.08.2018

zaakceptowano / accepted:

12.10.2018

w obrazowanej przestrzeni. Wszystko to, przy submilimetrowej rozdzielczości skanowania, pozwala uchwycić bardzo drobne szczegóły badanego obiektu.

Nieinwazyjna technika TK ma także szerokie zastosowanie poza medycyną. Pozwala odpowiedzieć na pytania stawiane także w zakresie mechaniki czy też w badaniach materiałowych. Z dobrodziejstw TK szeroko korzysta przemysł. Obszar analiz obejmuje m.in. defektoskopię, strukturę odlewów, badania jakości montażu podzespołów oraz struktury elektroniczne. TK pozwala więc na badania struktury materiałów, wykrywanie wtrąceń lub nieciągłości. Jest narzędziem nie do przecenienia jeśli chodzi o wyznaczanie wymiarów struktur wewnętrznych, do których nie można zastosować innych metod pomiarowych z powodu braku dostępu do nich [1].

Od kilkudziesięciu lat tomografia komputerowa stosowana jest do badań szczątków ludzkich. Z powodzeniem zastosowano ją w badaniach urn [2, 3]. W Polsce w latach 1995-2000 prowadzony był ważny program badania mumii egipskich ze zbiorów muzeów polskich [7-12]. Dodać należy, iż badania te były jednymi z pierwszych, w których stosowano tak nowoczesne jak na ówczesne czasy techniki trójwymiarowej rekonstrukcji czy wirtualnej endoskopii. Wówczas to po raz pierwszy dokonano próby odtworzenia twarzy tylko na podstawie obrazów bez dokonywania rozwijania obiektów. Inne badania z zastosowaniem tomografii komputerowej mumii prezentowane są w pracach [5, 6].

Cel

Celem pracy jest przedstawienie metodyki badania TK, urn (popielnic) zawierających przepalone szczątki ludzkie.

Materiał

Wykonano badania TK 5 urn (nr 49, 50, 51, 52, 53 – stosowane w pracy nazewnictwo obiektów jest zgodne z oznaczeniami nadawanymi obiektom w trakcie prac wykopaliskowych) zawierających przepalone ludzkie szczątki kostne. Odkryto je w 2015 roku, w czasie czwartego sezonu badań archeologicznych na stanowisku nr 6 w Dębnie (powiat łańcucki, województwo podkarpackie). Zespoły grobowe należy łączyć z I fazą tarnobrzeską kultury łużyckiej [14]. Badaniami archeologicznymi kierowali prof. dr hab. Sylwester Czopek i dr Katarzyna Trybała-Zawiślak (Zakład Archeologii Protohistorycznej, Instytut Archeologii UR). Eksplorację popielnic i analizę kości przeprowadziła antropolog dr Joanna Rogóż (Zakład Nauk Przyrodniczych i Archeometrii, Instytut Archeologii UR) po zakończeniu prac terenowych.

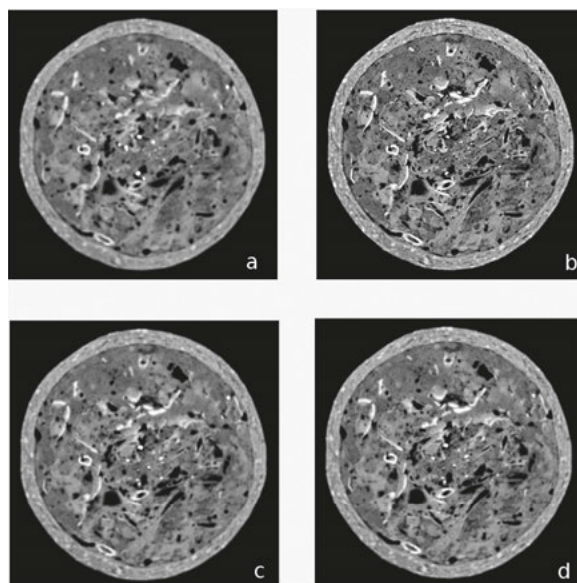
Metoda

Badania obrazowe zostały wykonane przy użyciu skanera tomografii komputerowej Optima CT520 (GE Healthcare) zainstalowanego w Pracowni Tomografii Komputerowej Laboratorium

Badań Ośrodkowego Układu Nerwowego i Kręgosłupa działającego w Przyrodniczo-Medycznym Centrum Badań Innowacyjnych Uniwersytetu Rzeszowskiego. Do badania wykorzystano dwa standardowe protokoły – do badania głowy oraz do badania brzucha. W trakcie skanowania dokonywano modyfikacji standardowych protokołów, zmieniając napięcie anodowe, natężenie w obwodzie żarzenia, grubości warstw oraz również typ rekonstrukcji. Następnie oceniano otrzymane obrazy. Po wykonaniu badań tomograficznych urny zostały poddane eksploracji. Zawierały konglomerat sedymentu, przepalonych ułamków kostnych, szczątków korzeni roślin oraz ceramiki. Porównywano zawartość urn z obrazami TK.

Wyniki

Aby uzyskać optymalne parametry, dobierano kolejno parametry wchodzące w skład protokołu badania. Następnie porównano otrzymane obrazy skanowania urny uzyskane przy różnych parametrach akwizycyjnych (Rys. 1), tak aby ustalić, jakie parametry pozwolą uzyskać jak najlepszą jakość.



Rys. 1 Porównanie obrazów tej samej warstwy badanego obiektu (urna nr 50) otrzymanych przy zastosowaniu różnych parametrów skanowania (zastosowano tzw. okno o szerokości 3870 j.H. i o środku 1470 j.H.)

Źródło: Opracowanie własne.

Badania przeprowadzono dla 4 napięć anodowych dostępnych w protokołach skanera, tj. 80 kV, 100 kV, 120 kV oraz 140 kV. Zdecydowanie najgorszy obraz uzyskano dla najniższego napięcia. Jest to związane z wysokim tłumieniem promieniowania rentgenowskiego w badanym obiekcie i niską wartością energii wiązki. Dla wyższych napięć, począwszy od 100 kV, jakość obrazu ulegała znacznej poprawie. Podsumowując, należy stwierdzić, iż korzystniej jest wykonywać badania urn przy napięciu powyżej 100 kV. Trzeba zwrócić uwagę, że wymóg zwiększania wartości napięcia wzrasta ze wzrostem wielkości obiektu. Warto



przy tym zauważyć, że badane obiekty posiadały średnicę maksymalną porównywalną ze średnicą ciała człowieka, natomiast miały gęstość wielokrotnie wyższą niż gęstość tkanek miękkich. Ten właśnie czynnik jest odpowiedzialny za konieczność zwiększenia energii wiązki. Na podstawie prób uznano wartość 140 kV za optymalną.

Prąd stosowany w badaniu był wynikiem automatycznego jego doboru przez system tomografu komputerowego. Biorąc pod uwagę charakter obiektów, stwierdzono, iż zwiększenie wartości prądu znacznie poprawia jakość otrzymywanych obrazów. Zakres optymalnych wartości mA wyniósł 115-255.

Należy stwierdzić, że stosowanie warstwy o grubości 2,5 mm dało obraz niskiej jakości, z niewielką liczbą szczegółów. Badania tak wykonane mogą być akceptowane jedynie do ogólnej oceny zawartości urn. Pozwalały przy tym na oszczędniejsze wykorzystanie lampy rtg w aparacie TK. Zmniejszanie grubości warstwy zaowocowało poprawą rozdzielczości przestrzennej. Miało to znaczenie w przypadku wykonania rekonstrukcji wolumetrycznych znajdujących się wewnątrz obiektów. Optymalna okazała się grubość warstwy 0,625 mm.

Oprócz zmian napięcia, natężenia prądu i grubości warstw z otrzymanych surowych danych tzw. raw data, rekonstruowano obrazy z wykorzystaniem algorytmów BONE, BONEPLUS, DETAIL, STANDARD oraz EDGE. Rekonstrukcja z zastosowaniem algorytmu EGDE powodowała dużą ziarnistość obrazu, przez co był on gorszy od otrzymanych z zastosowaniem pozostałych algorytmów. Najlepsze obrazy uzyskano przy użyciu algorytmu BONEPLUS, co – w połączeniu ze zwiększeniem prądu anody – dodatkowo wpłynęło na uwydatnienie szczegółów obrazu.

Po próbnym skanowaniu jako optymalne ustalono następujące parametry, które stosowano w dalszych badaniach (Tabela 1):

- napięcie – 140 kV,
- wartość prądu lampy RTG w zakresie 115-255 mA,
- grubość warstwy 0,625,
- rekonstrukcja obrazów w trybie BONEPLUS.

Tabela 1 Zestawienie wybranych parametrów skanowania

Obraz	Napięcie [kV]	Prąd lampy [mA]	Grubość warstwy [mm]	Rodzaj rekonstrukcji
Rys. 1a	140	255	1,25	STANDARD
Rys. 1b	140	255	0,625	BONEPLUS
Rys. 1c	140	115	0,625	STANDARD
Rys. 1d	140	115	0,625	DETAIL

Źródło: Opracowanie własne.

Opracowując optymalne parametry badania TK, dokonano analizy grubości badanych obiektów. W tym celu, na uzyskanych skanach, przeprowadzono pomiary geometryczne ścianek wszystkich pięciu naczyń. Pomiarów dokonywano w środkowej części wysokości na dystansie ok. 15 mm. Dla każdej popielnicy wykonano ok. 40 pomiarów grubości ścianki, po czym dokonano

obliczenia wartości średniej. Wyniki prezentują się następująco: Popielnica nr 50 – 8,5 mm; Popielnica nr 49 – 8,7 mm; Popielnica nr 69 – 10,6 mm; Popielnica nr 52 – 11,6 mm; Popielnica nr 51 – 12,0 mm.

Stwierdzono, że zawartość urn charakteryzuje wysoki współczynnik osłabienia promieniowania rentgenowskiego – dużo większy niż ciało człowieka. Analizując poszczególne elementy zawartości, określono ich gęstość (stopień osłabienia) w jednostkach Hounsfielda (j.H.). Wyniki zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2 Gęstości poszczególnych frakcji znajdujących się w badanych urnach [j. H.]

Lp.	Badana frakcja	Średnia gęstość [j.H.]	Parametry okna obrazowania *
1	Przepalona kość – część zbita	>1800	L-1800 W-300
2	Przepalona kość – część gąbczasta	-300 ÷ 0	L-500 W-4500
3	Materiał mineralny (popiół, sediment)	800+1100	L-800 W-3000
4	Naczynia gliniane	1200+1500	L-1000 W-2800

* L – szerokość okna, W – środek okna

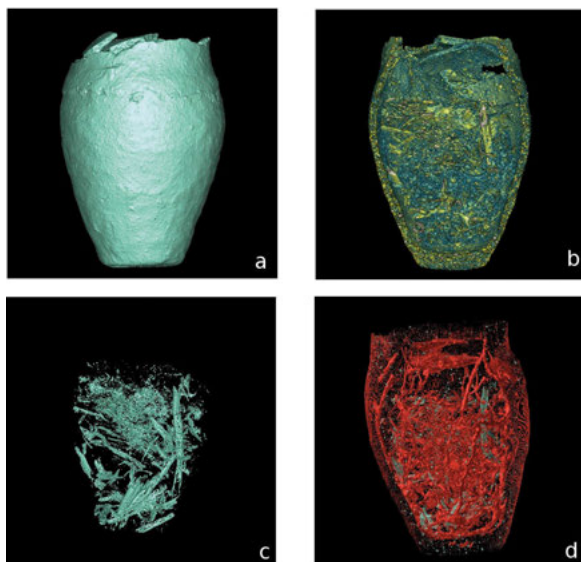
Źródło: Opracowanie własne.

Podstawowe obrazy uzyskane ze skanowania urn to przekroje poprzeczne (aksjalne). Pozwalają uwidocznić rozkawałkowane kości zarówno z komponentą warstwy zbitej, jak również istoty gąbczastej. Wykorzystanie obrazowania wolumetrycznego (rekonstrukcje 3D) oraz wybór zakresu jednostek Hounsfielda pozwala na obrazowanie oddzielnie różnych frakcji badanej urny. Możliwości te przedstawiają obrazy na rysunku 2. Dla przykładu – rysunek 2a obrazuje rekonstrukcję wolumetryczną samej urny. Na rysunku 2b pokazano przekrój urny w rekonstrukcji wolumetrycznej z kodowaniem barwnym gęstości obiektu z pominięciem sedymentu oraz szczątków roślinnych.

Porównując różną liczbę odtamów kostnych w poszczególnych naczyniach poddanych badaniu, wysnuć można wniosek, iż do urn nie wkładano wszystkich kości oraz że rozmiar i upakowanie fragmentów były zróżnicowane. Na rysunku 2c, w rekonstrukcji wolumetrycznej, uwidoczniło się część frakcji kostnej o gęstości powyżej 2000 j.H. Dobrze uwidocznione fragmenty trzonów kości długich kończyn wykazują pęknięcia o zróżnicowanym zakresie. Odtamy kostne były bardzo ściśle upakowane wewnątrz urn, co pozwala przypuszczać, że uczyniono to po rozkawałkowaniu kości. Na rysunku 2c zwraca uwagę większy fragment kostny o długości 143 mm.

Na rysunku 2d zobrazowano zawartość urny z pominięciem frakcji sedymentu oraz jej samej. Obraz ukazuje kości otoczone szczątkami roślin, które wniknęły do wnętrza popielnicy.

Możliwość dokładnej analizy ułożenia kości przedstawia także rysunek 3. W górnej części urny uwidoczniło się ułożone kości mózgowcazki. Kości ciemieniowa i czotowa zostały złożone w urnie najprawdopodobniej w całości, a z czasem uległy one rozkawałkowaniu, tworząc niejako naturalne zamknięcie zawartości urny od góry.



Rys. 2 Urna nr 50 w badaniu TK

a) Rekonstrukcja wolumetryczna urny, b) przekrój rekonstrukcji wolumetrycznej z kodowaniem barwnym obrazowanych gęstości, c) frakcja kostna o gęstości powyżej 1800 j.H. (dla lepszego obrazowania usunięto obraz urny), d) frakcja kostna (powyżej 1800 j.H.) oraz frakcja odpowiadająca szczątkom roślinnym (-1000 + -700 j.H.)
 Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 3 Porównanie zdjęcia (po lewej) urny nr 50 wykonane podczas eksploracji oraz rekonstrukcji trójwymiarowej TK tego samego obszaru (po prawej)
 Źródło: zdjęcie po stronie lewej - zbiory Instytutu Archeologii Uniwersytetu Rzeszowskiego, dr Joanna Rogóż; zdjęcie po stronie prawej - opracowanie własne.

Dyskusja

Tomografia komputerowa jest doskonałym narzędziem do wstępnych badań znalezisk archeologicznych, w tym przypadku urn. Uzyskane obrazy pozwalają na prowadzenie eksploracji naczyń w sposób ukierunkowany. Z kolei eksploracja urn powoduje nieodwracalne zmiany tych obiektów. Przywrócenie ich do stanu początkowego jest niemożliwe, dlatego też możliwość pozyskania i archiwizacji cyfrowego obrazu badanego obiektu jest bezcenna. Aby jednak w pełni skorzystać z możliwości, jakie daje badanie TK, konieczny jest dobór optymalnych parametrów. Było to celem przedstawionej pracy. Uzyskane przez autorów wyniki są zgodne z rezultatami podobnych prac [2, 3, 13]. We wszystkich wymienionych publikacjach autorzy stosowali napięcie anodowe co najmniej 120 kV i wyższe. Wartość prądu lampy wahał się w granicach od 30,0 mA [13] do 169,5 mA [3]. Autorzy prac [3, 13] zaprezentowali trójwymiarowe rekonstrukcje szczątków znajdujących się wewnątrz naczyń, przez co potwierdzili ogromne możliwości obrazowania

tomograficznego względem obiektów archeologicznych będących przedmiotem analizy. Badania popielnic tarnobrzeskiej kultury łużyckiej w pełni korespondują i potwierdzają metodykę obrazowania urn z wcześniejszymi doniesieniami w tym zakresie. Już pierwsze oględziny uzyskanych obrazów tomograficznych ukierunkowały eksplorację w sposób umożliwiający pozyskanie niektórych kości (Rys. 2c) w możliwie nienaruszonym stanie oraz w sposób pozwalający na odtworzenia ich wymiarów geometrycznych. Bez uprzedniej wiedzy o strukturze wewnętrznej obiektu archeologicznego (w tym przypadku wypełnienia popielnicy) byłoby bardzo utrudnione lub wręcz niemożliwe.

Wnioski

W wyniku przeprowadzonej pracy uzyskano optymalne parametry pozwalające na wykonywanie wiarygodnych badań TK urn kremacyjnych (popielnic).

Bibliografia

1. <http://www.energoelektronika.pl/do/ShowNews?id=1802>
2. T. Anderson, C. Fell: *Analysis of Roman Cremation Vessels by CT Scanned Computerized Tomography*, Journal of Archaeological Science 1995, 22(5): 609-617.
3. L. Harvig, N. Lynnerup, J. Amsgaard Ebsen: *Computed tomography and computed radiography of late bronze age cremation urns from Denmark: an interdisciplinary attempt to develop methods applied in bioarchaeological cremation research*, Archaeometry 2012, 54 (2): 369-387.
4. N. Lynnerup, H. Hjalgrim, L.N. Nielsen, H. Gregersen, I. Thuesen: *Non-invasive Archaeology of Skeletal Material by CT Scanning and Three-dimensional Reconstruction*, International Journal of Osteoarchaeology, 1997, 7 (1): 91-94.
5. S.L. Cox: *A Critical Look at Mummy CT Scanning*, The Anatomical Record, 2015, 298 (6): 1099-1110.
6. S.N. Saleem, Z. Hawass: *Ankylosing Spondylitis or Diffuse Idiopathic Skeletal Hyperostosis in Royal Egyptian Mummies of the 18th -20th Dynasties? Computed Tomography and Archaeology Studies*, Arthritis&Rheumatology, 2014, 66 (12): 3311-3316.
7. A. Urbanik: *Comprehensive radiological examination*, [w:] K. Babraj, H. Szymańska (red.), *Mummy: Results of Interdisciplinary Examination of the Egyptian Mummy of Aset-Iri-Khet-Es from the Archaeological Museum in Cracow*, Kraków, Polska Akademia Umiejętności, 2001, s. 63-74.
8. A. Urbanik, R. Chrzan, W. Wojciechowski, H. Szymańska, K. Babraj, A. Czubak: *Badanie mumii egipskich*, Polski Przegląd Radiologii, 2001, 66 (1): 79-83.
9. A. Urbanik, H. Szymańska, K. Babraj, R. Chrzan, W. Wojciechowski: *Endoskopia TK z użyciem 3 D i wirtualnej endoskopii – nowa metoda w badaniu egipskich mumii*, RNSA Congress, Chicago 1999, Book of Abstracts, s. 523.
10. A. Urbanik: *Ocena głów mumii egipskich przy pomocy TK*, Forum Diagnostyczne Schering AG, 2001, Sucha Beskidzka, Streszczenia, 5:193.
11. A. Urbanik, R. Chrzan, W. Wojciechowski, A. Czubak, H. Szymańska, K. Babraj: *Przyżyciowa rekonstrukcja twarzy egipskiej mumii z użyciem 3D TK, bez rozwijania obiektu, XXXVI Zjazd Radiologów Polskich*, Lublin 2001, Streszczenia, s. 295.
12. A. Urbanik: *Kompleksowe badania mumii egipskich z użyciem spiralnej tomografii komputerowej*. Streszczenia – Seminarium Multidyscyplinarne badania nad mumią egipską Iset – Iri – Hetes, Muzeum Archeologiczne, Kraków 1999, s. 67.
13. F. Cavalli, D. Innocenti, M. Črešnar, M. Vinazza: *Multidetector computed tomography and micro-excavation of prehistoric urn from Novine/Hoarachkogel (Slovenia/Austria)*, [w:] *Arhäologische Biographie einer Landschaft an der steirisch-slowenischen Grenze/Arheološka biografija krajine ob meji med avstrijsko Štajersko in Slovenijo. Schild von Steier*, Beiheft 6/2015, Graz – Lubljana, s. 238-244.
14. S. Czopek, K. Trybała-Zawiślak: *Wybrane aspekty obrządku pogrzebowego we wczesnej fazie tarnobrzeskiej kultury łużyckiej na przykładzie cmentarzyska w Dębiniu, pow. Łańcut*, Haykobi ctydii, t. 7, Lwów, s. 118-130, 2014.