

FOLIA MEDICA CRACOVIENSIA

Vol. LI, 1–4, 2011: 77–90

PL ISSN 0015-5616

TOMASZ DREWNIAK¹, MACIEJ RZEPECKI¹, KAJETAN JUSZCZAK^{1, 2},
WOJCIECH KWIATEK³, JAKUB BIELECKI³, KRZYSZTOF ZIELIŃSKI⁴, ANDRZEJ RUTA⁴,
ŁUKASZ CZEKIERDA⁴, ZBIGNIEW MOCZULSKI⁵

OBRAZOWANIE GUZA NERKI W TRAKCIE ZABIEGÓW NERKOOSZCZĘDNYCH: MODEL ZWIERZĘCY I ZASTOSOWANIE KLINICZNE

Abstract: *Augmented reality for image guided therapy (ARIGT) of kidney tumor during nephron sparing surgery (NSS): animal model and clinical approach*

Introduction. The main problem in nephron sparing surgery (NSS) is to preserve renal tumors oncological purity during the removal of the tumor with a margin of macroscopically unchanged kidney tissue while keeping the largest possible amount of normal parenchyma of the operated kidney. The development of imaging techniques, in particular IGT (Image Guided Therapy) allows precise imaging of the surgical field and, therefore, is essential in improving the effectiveness of NSS (increase of nephron sparing with the optimal radicality).

Aim. The aim of this study was to develop a method of the three-dimensional (3D) imaging of the kidney tumor and its lodge in the operated kidney using 3D laser scanner during NSS procedure. Additionally, the animal model of visualization was developed.

Material and methods. The porcine kidney model was used to test the set built up with HD cameras and linear laser scanner connected to a laptop with graphic software (David Laser Scanner, Germany) showing the surface of the kidney and the lodge after removal the chunk of renal parenchyma. Additionally, the visualization and reconstruction was performed on animal porcine model. Moreover, 5 patients (3 women, 2 men) aged from 37 to 68 years (mean 56), diagnosed with kidney tumors in CT scans with a diameter of 3.7–6.9 cm (mean 4.9) were operated in our Department this year, scanning the surface during the treatment with the kidney tumor and kidney tumor after it is removed with a margin of renal tissue. In one case, the lodge of removed tumor was scanned. Dimensions in 3D reconstruction images of laser scans in the study of animal model and the images obtained intraoperatively were compared with the dimensions evaluated during preoperative CT scans, intraoperative measurements.

Results. Three-dimensional imaging laser scanner operating field loge resected tumor and the tumor on the kidney of animal models and during NSS treatments for patients with kidney tumors is possible in real time with an accuracy of -2 mm do $+9$ mm (± 3 mm). The duration of data acquisition by laser scanner and obtain three-dimensional image of the operating field takes

an average of 13 seconds \pm 2 seconds. Movements associated with breathing and heart rate did not affect on the quality of the reconstruction. The imposition of the scanned surface texture occurs in real time, allowing you to identify renal parenchymal structures such as renal cortex, pyramids, pyelo-calices complex.

Conclusions. Imaging control of NSS procedures is possible in animal models and in real time intraoperatively. The comparison of tumor size and the tumor lodge obtained in preoperative CT scans with the measurements during NSS procedure provide the surgeon to assess the extent of macroscopic estimation of the resection. This procedure helps the surgeon in obtaining oncological radicality with saving as much normal tissue kidney as possible. Performance of the imaging methods should be evaluated on a larger group of patients with kidney tumors eligible for NSS treatment.

Key words: kidney tumor, augmented reality for image gided therapy (ARIGT), nephron sparing surgery

Słowa kluczowe: guz nerki, obrazowanie w czasie rzeczywistym, zabiegi nerkooszczędne

WSTĘP

W ostatniej dekadzie jesteśmy świadkami postępu w urologii operacyjnej spowodowanego rozwojem technik obrazowania. Widzimy to oceniając obrazy uzyskane w trakcie KT, MRI, PET przed zabiegiem chirurgicznym, a także w dynamicznym rozwoju chirurgii laparoskopowej lub z użyciem robota [10]. Operacje minimalnie inwazyjne, z zachowaniem operowanego narządu, wymagają dokładnego obrazowania, gdyż od operatora wymaga się precyzyjnego poruszania się w polu operacyjnym. Na podstawie obrazowania możemy skutecznie planować i przeprowadzać tego typu zabiegi, dzięki czemu stały się one powszechniejsze, dając lepszy wynik leczniczy, z mniejszą ilością powikłań, jednocześnie skracając czas leczenia i obniżając jego koszty. Obecnie w wielu ośrodkach pracuje się nad obrazowaniem pola operacyjnego w czasie rzeczywistym w trakcie zabiegu, używając ultrasonografii śródzabiegowej lub fluoroskopii rentgenowskiej, a w dużych światowych ośrodkach urologicznych sale operacyjne wyposażone są w tomografy wielorzędowe lub MRI. Celem tych prac jest umożliwienie operatorowi wglądu do niewidocznego wnętrza operowanych narządów mięszzowych i usunięcie w całości zmiany patologicznej z pozostawieniem możliwie największej ilości prawidłowej tkanki narządu. Badania przedzabiegowe obrazują także przebieg naczyń oraz innych ważnych dla ewentualnych powikłań struktur niewidocznych dla operatora podczas zabiegu (w chirurgii nerki: układ kielichowo-miedniczkowy nerki, naczynia nerki). Nadzór obrazowy w czasie rzeczywistym w polu operacyjnym umożliwia lokalizację tych struktur w mięszzu narządu. Pierwsze takie zabiegi przeprowadzano w neurochirurgii, gdzie dotarcie do zmian patologicznych mogło wiązać się z uszkodzeniem niewidocznych w polu operacyjnym dla operatora innych zdrowych struktur mózgu. Celem naszej pracy było podjęcie próby opracowania sposobu obrazowania powierzchni nerki oraz tej samej powierzchni po usunięciu jej części na modelu

zwierzęcym, a następnie próba oceny powierzchni nerki operowanej z powodu guza wraz z oceną wielkości łoży po guzie i samego guza nerki w trakcie operacji nerkooszczędnych u chorych z guzem nerki. Rozpowszechnienie badań obrazowych (USG, KT, MRI) przyczyniło się do zwiększonego wykrywania wszystkich rodzajów zmian guzowatych kory nerki, które obecnie można w większości przypadków leczyć nerkooszczędnie [1, 3]. Leczenie chirurgiczne z usunięciem jedynie guza nerki w zaawansowaniu T1, czyli do 7 cm średnicy guza (wg klasyfikacji TNM), jest obecnie złotym standardem leczenia [2, 3].

Najwięcej guzów nerek wykrywa się na podstawie badania USG wykonywanego z różnych powodów. Potwierdzenia rozpoznania guza nerki oraz oceny jego cech morfologicznych i czynności obu nerek dokonuje się na podstawie badania KT z kontrastem [2, 3]. Celem leczenia nerkooszczędnego jest wycięcie całego guza, aby zapobiec wznowie miejscowej i jednocześnie zachować na tyle funkcję kory nerki, aby ją w największym stopniu zachować. Leczenia nerkooszczędne to albo wyluszczenie, polegające na wycięciu guza wraz z marginesem ok. 5–10 mm niezmienionej makroskopowo tkanki nerki lub częściowa nefrektomia [4]. Dobór chorych do zabiegu wymaga precyzyjnego obrazowania dla oceny zaawansowania miejscowego i znajomości anatomii nerek. Tradycyjnie rozważa się leczenie nerkooszczędne u chorych z guzem jedynej nerki, niewydolnością nerek lub obustronnymi guzami. Krwawienie z mięszu nerki jest podstawowym problemem w trakcie zabiegu i w razie niepowodzenia kończy się jej usunięciem. Nieszczelność w układzie kielichowo-miedniczkowym (UKM) operowanej nerki nierozpoznana śródzabiegowo odpowiedzialna jest za powstanie w okresie pozabiegowym przetoki moczowej. Wiedza z tomografii komputerowej o typie unaczynienia oraz morfologii przestrzennej UKM nerki powinna towarzyszyć chirurgowi w trakcie zabiegu, pozwalając możliwie najsprawniej przeprowadzić zabieg przy minimalnej ilości powikłań.

MATERIAŁ I METODA

Dla sprawdzenia możliwości obrazowania nerki na modelu zwierzęcym wykonano tomografię komputerową świeżej nerki świńskiej z wyciętym fragmentem mięszu nerki o średnicy ok. 4 cm i utworzonym ubytkiem sięgającym układu kielichowo-miedniczkowego (ryc. 2). Do skanowania nerek użyto skanera laserowego własnej konstrukcji, składającego się z kamery video HD oraz lasera liniowego. Obraz laserowy powierzchni z kamery przekazywany był do komputera z oprogramowaniem graficznym (David Laser Scanner wer. 2.6.3) pozwalającym złożyć trójwymiarowy obraz z linii lasera oświetlającego badaną powierzchnię. Tekstura obrazu była nakładana wtórnie na obraz 3D uzyskanej powierzchni (ryc. 1). Obraz skanowanej powierzchni powstawał w czasie rzeczywistym na monitorze komputera. Według tej metodologii zeskanowano

powierzchnię świńskiej nerki z ubytkiem mięszu symulującym obraz łoży po usuniętym guzie nerki (ryc. 3). Obrazy łoży po guzie z KT oraz ze skanowania laserowego nałożono graficznie na siebie (ryc. 4). Podobny wynik uzyskano porównując wymiary obrazu laserowego fragmentu wyciętego z nerki świńskiej do wymiarów obrazu KT tego fragmentu (ryc. 6). Po dopracowaniu metodologii skanowania łoży, u kolejnych pięciorga chorych (3 kobiety, 2 mężczyzn) w wieku od 37 do 68 lat (średnia 56) z rozpoznaniem w KT guzem nerki o średnicy 3,7–6,9 cm (średnio 4,9), operowanych w tutejszym oddziale w pierwszej połowie 2011 roku, skanowano łożę w trakcie zabiegu, uzyskując obrazy powierzchni nerki wraz z guzem oraz guza nerki po usunięciu go z marginesem tkanki nerkowej. U wszystkich tych chorych wykonano przedzabiegowe Angio-KT, otrzymując obraz fazy naczyniowej, mięszowej oraz wydalniczej nerki z guzem. Na stacji graficznej „Vitrea” uzyskano obraz 3D nerki wraz z guzem (ryc. 7). Dokonano także graficznej symulacji łoży po usuniętym guzie nerki, zakładając 10-milimetrowy margines niezmiennego mięszu nerki (ryc. 8). Kolejnym krokiem było przedstawienie graficzne informacji dotyczącej operowanej nerki z 3 faz badania Angio-KT w jednej 3D rekonstrukcji i z obrazem łoży po guzie nerki przy założeniu 10-milimetrowego marginesu resekcji (ryc. 9). Po dopracowaniu szczegółów skanowania laserowego pola operacyjnego w jednym przypadku skanowano śródzabiegowo łożę po usuniętym guzie, kiedy czas akwizycji danych nie przekraczał 15 sekund. Wymiary w obrazach z rekonstrukcji 3D obrazów laserowych uzyskanych śródzabiegowo porównano z wymiarami w KT przedoperacyjnym operowanej nerki (ryc. 10). Laserowe obrazy śródzabiegowe porównano z obrazami uzyskanymi w trakcie rekonstrukcji 3D badań KT z kontrastem na stacji graficznej „Vitrea” ver. 2010, analizując zgodność przedzabiegowego planowania zakresu zabiegu z rzeczywistym obrazem śródzabiegowym usuniętej części nerki wraz z guzem. Zbadano także zgodność obrazu śródzabiegowego łoży po usuniętym guzie widzianym przez urologa z teksturą obrazu 3D laserowego (ryc. 12).

WYNIKI

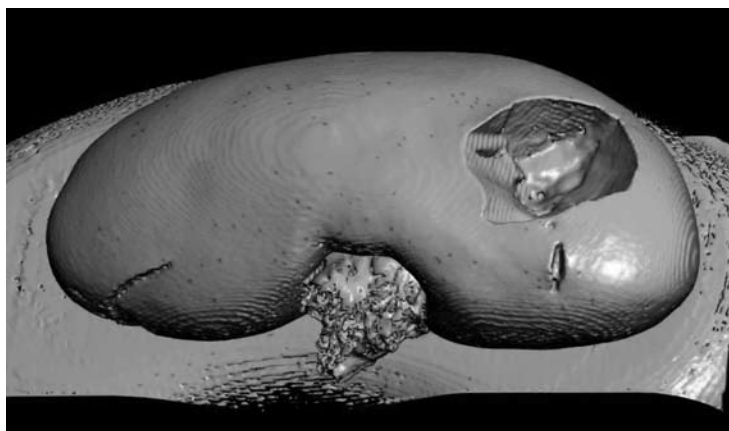
W badaniach obrazowych modelu zwierzęcego nerki wraz z częściowym ubytkiem mięszu nerki symulującym łożę po guzie wykazano, że 3D rekonstrukcja powierzchniowa obrazów dwuwymiarowych łoży nerki w KT ma wymiary zgodne do 1,5 mm w porównaniu tego samego obrazu z rekonstrukcją po zeskanowaniu jej laserem liniowym (ryc. 5). W grupie chorych operowanych nerkooszczędnie wykazano, że obrazowanie łoży przy użyciu lasera jest możliwe w czasie rzeczywistym w trakcie zabiegu operacyjnego, gdyż czas akwizycji danych i ich przedstawienie w formie obrazu 3D na monitorze komputera wynosi około 13 sekund (± 2 sekundy) i nie wpływa na przedłużenie zabiegu. Nałożenie na obraz laserowy 3D łoży po guzie jego obrazu z kamery HD daje moż-

liwość identyfikacji struktur nerki, takich jak kora nerkowa, piramidy, UKM. Porównanie największych wymiarów guza nerki w badaniu KT powiększonych o 10 mm marginesu tkanki prawidłowej koreluje z wymiarami łoża uzyskanymi z obrazu 3D po skanowaniu laserowym w zakresie średnio 3,8 mm (od -2 do +9 mm) (ryc. 13). Tworzenie w trakcie zabiegu obrazu ze skanera laserowego jest całkowicie bezpieczne dla otoczenia i nie wymaga użycia okularów ochronnych. Wykazano także, że ruchy oddechowe i wynikające z tętnienia krwi nie wpływają znacząco na laserowe obrazy śródzabiegowe nerki.



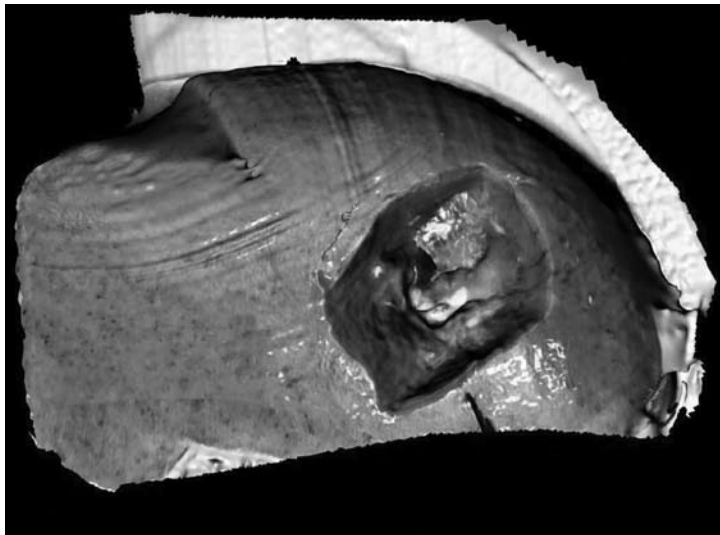
Ryc. 1. Nerka świńska z wyciętym fragmentem miąższu imitującym łożę po guzie nerki

Fig. 1. Porcine kidney with removed parenchyma imitating tumor site



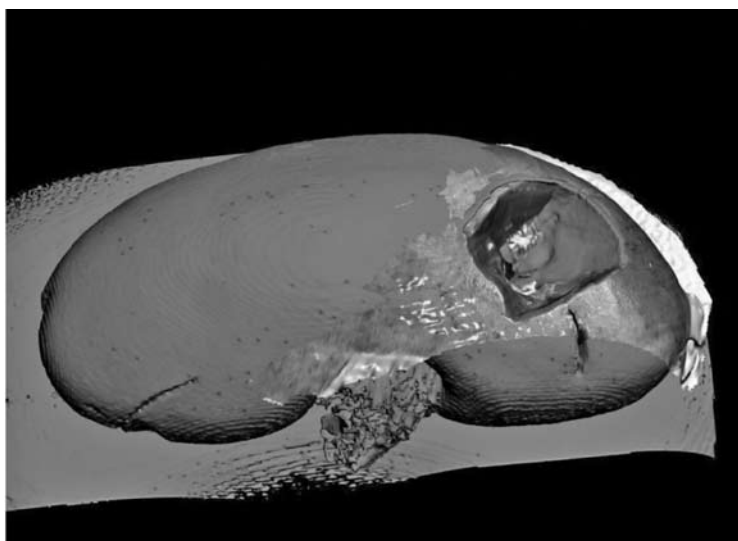
Ryc. 2. Obraz rekonstrukcji 3D KT nerki świńskiej z wyciętym fragmentem miąższu imitującym łożę po guzie nerki

Fig. 2. 3D reconstruction CT image of porcine kidney with removed parenchyma imitating tumor site



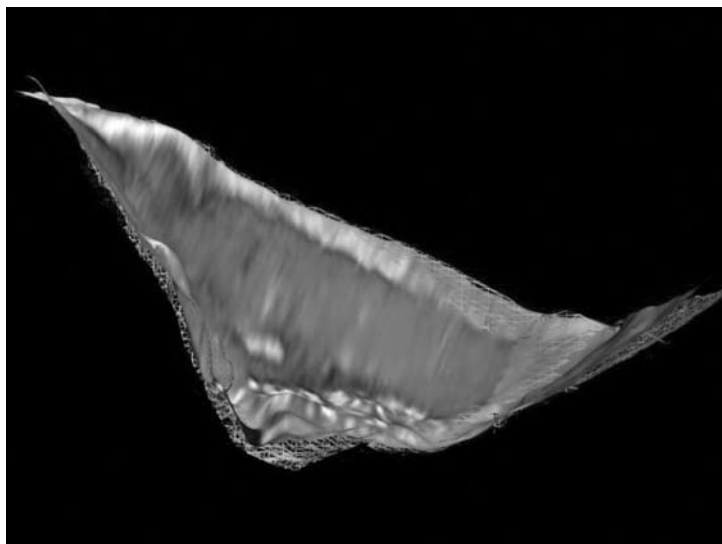
Ryc. 3. Obraz 3D laserowy nerki świńskiej z wyciętym fragmentem mięszu imitującym lożę po guzie nerki

Fig. 3. 3D laser image of porcine kidney with removed parenchyma imitating tumor site



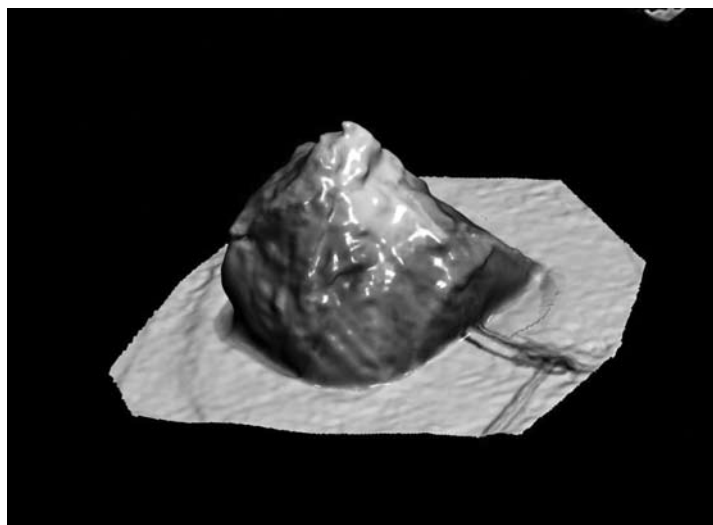
Ryc. 4. Fuzja obrazu 3D z KT i obrazu 3D laserowego nerki świńskiej z wyciętym fragmentem mięszu imitującym lożę po guzie nerki

Fig. 4. The fusion of 3D CT and 3D laser images of porcine kidney with removed parenchyma imitating tumor site



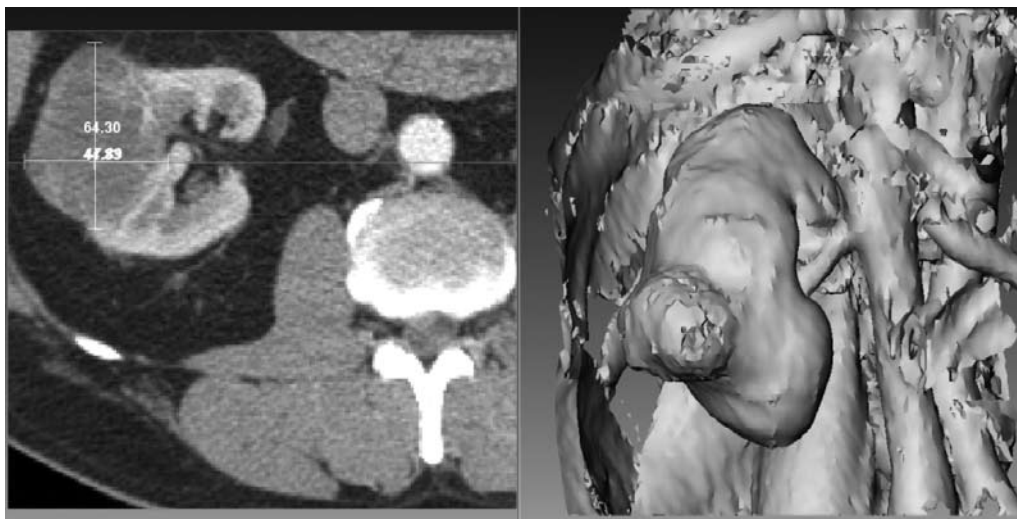
Ryc. 5. Porównanie w przekroju strzałkowym wymiarów ubytku miąższu nerki świńskiej w obrazowaniu 3D KT i 3D laserowym — różnica wymiarów nie przekracza 1,5 mm

Fig. 5. The comparison (sagittal axis) of dimensions of kidney porcine parenchyma reduction in 3D CT and laser imaging — the difference do not exceed 1.5 mm



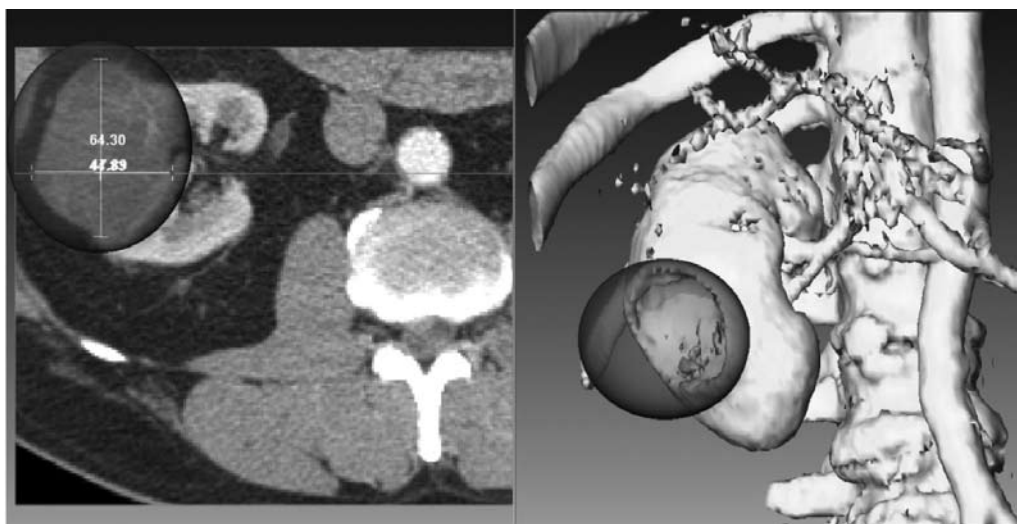
Ryc. 6. Obraz 3D laserowy fragmentu nerki usuniętego z nerki świńskiej imitujący guza nerki

Fig. 6. 3D laser image of removed porcine kidney parenchyma imitating renal tumor



Ryc. 7. Obraz rekonstrukcji 3D nerki wraz z guzem w Angio-KT

Fig. 7. 3D reconstruction CT image of kidney with tumor in Angio-CT



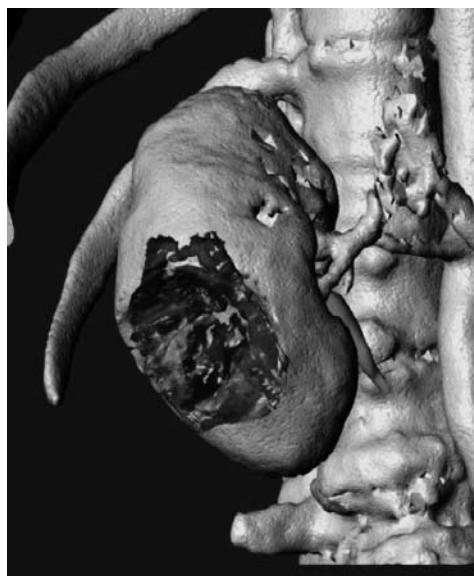
Ryc. 8. Obraz rekonstrukcji 3D nerki w Angio-KT z predykcją loży po usunięciu guza z marginesem tkankowym 10 mm (kula)

Fig. 8. 3D Angio-CT reconstruction image with prediction of tumor longe with tissue margin 10 mm (ball)



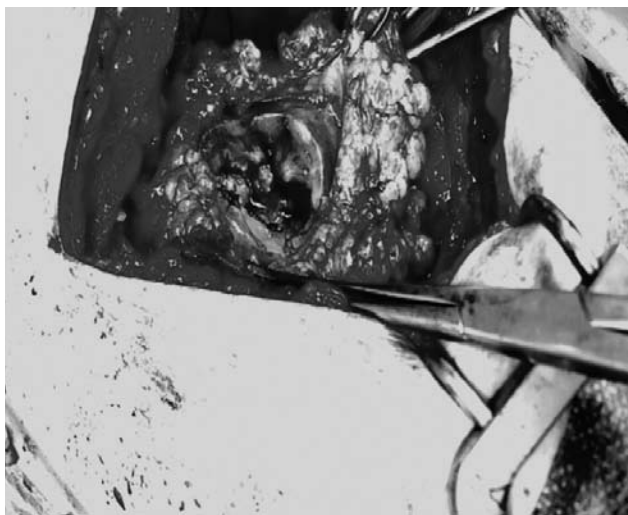
Ryc. 9. Szczegółowa predykcja łoży guza z 10-milimetrowym marginesem
— widoczny konflikt z UKM (szary)

Fig. 9. The detailed prediction of tumor longe with 10 mm margin — the contact with pyelo-caycaleal system in visible (grey colour)



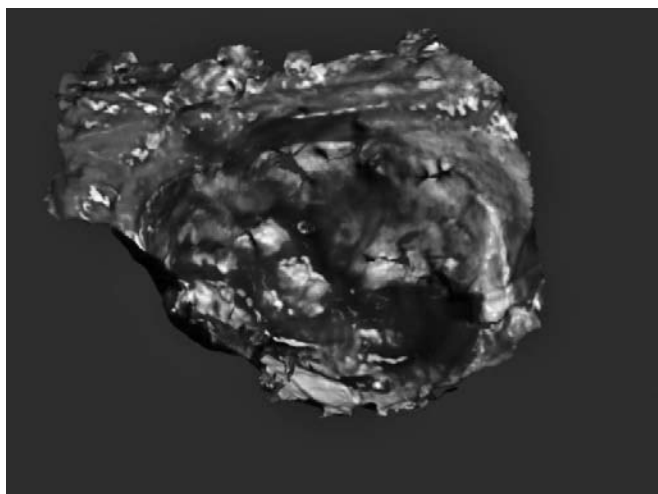
Ryc. 10. Fuzja predykcji łoży po guzie w Angio-KT z obrazem laserowym 3D łoży
uzyskanym w trakcie zabiegu operacyjnego

Fig. 10. The fusion of tumor longe in Angio-CT with the 3D laser intraoperative imaging



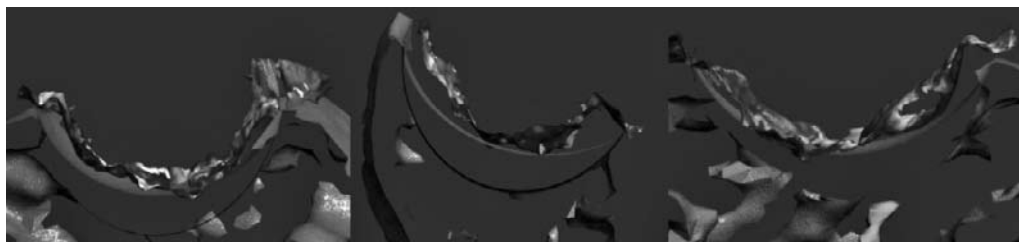
Ryc. 11. Obraz śródoperacyjny łoży po usunięciu guza nerki z widoczną korą nerki, piramidą oraz UKM

Fig. 11. The intraoperative image of tumor longe with visible kidney cortex, pyramid and pyelo-calyceal system



Ryc. 12. Obraz 3D laserowy tej samej łoży po usunięciu guza nerki z nałożoną teksturą obrazującą korę nerki, piramidę nerkową oraz UKM

Fig. 12. The 3D laser image of tumor longe with combined texture of the kidney cortex, pyramid and pyelo-calyceal system



Ryc. 13. Porównanie wymiarów predykcji 3D łoży w Angio-KT i obrazie laserowym w przekroju strzałkowym, poprzecznym, czołowym łoży po guzie nerki — zgodność od -2 mm do $+9$ mm (średnio $3,8$ mm)

Fig. 13. The comparison of the 3D Angio-CT and laser tumor site images prediction dimensions in sagittal, transverse and frontal axis — compatible from -2 mm to $+9$ mm (mean: 3.8 mm)

DYSKUSJA

Każda z ostatnio rozwijanych technologii obrazowania (USG, KT, MRI, PET) ma swoje specyficzne ograniczenia i dopiero ich kombinacja stała się postępowaniem rutynowym w wykrywaniu guza, określeniu stopnia zaawansowania i nadzoru obrazowego leczenia [14]. Mimo postępu przełożenie obrazu przedzabiegowego na pole operacyjne pozostaje dla urologa wyzwaniem, zmuszając do poruszania się w nim na podstawie oglądu i palpacji. Tylko techniki obrazowania w czasie rzeczywistym mogą umożliwić chirurgowi aktualny wgląd w pole operacyjne [5, 6, 8]. W ostatniej dekadzie powstało wiele technik obrazowania, które pozwalają odróżnić tkankę nowotworową od prawidłowej, wykorzystując jej specyficzne cechy, jak intensywny wzrost i ekspresję czynników wzrostu, nieograniczony potencjał wzrostowy, intensywną angiogenezę i podwyższoną aktywność proteolityczną [14]. Intensywny wzrost raka piersi i zwiększony wychwyt znaczonej radioaktywnie glukozy pozwala obrazować tkankę nowotworu przy użyciu specjalnych śródzabiegowych sond, wykrywających różnicę w radioaktywności tkanek [15]. W trakcie zabiegu wykorzystuje się także różnicę tkanek prawidłowych i nieprawidłowych po podaniu specyficznych znaczników w obrazie spektroskopii. Takie obrazowanie śródzabiegowe pozwala wykryć raka skóry, śluzówek oraz narządów mięsnych [15, 16]. Innym sposobem identyfikacji nieprawidłowej tkanki w polu operacyjnym jest metoda fluorescencyjna, która wykorzystuje zjawisko świecenia tkanki nowotworowej po podaniu specyficznych znaczników i po oświetleniu pola odpowiednim światłem [17, 18, 19, 20]. W trakcie usuwania węzłów chłonnych z powodu raka sutka metoda fluorescencyjna umożliwi lokalizację w polu operacyjnym węzła wartowniczego [21]. W tej samej metodologii można wykrywać w polu operacyjnym guzy mózgu i kontrolować radykalność zabiegu w trakcie ich usuwania [22].

Pomysł obrazowania 3D pola operacyjnego skanerem laserowym i porównanie do obrazów z innych sposobów obrazowania (KT, MRI) w chirurgii nerkooszczędnej nie został dotąd opisany. Próbę wyznaczenia zakresu laparoskopowego wycięcia guza nerki w trakcie zabiegu przeprowadziła grupa pod kierunkiem prof. Gilla. Urolog w trakcie laparoskopii na obraz guza nerki miał nałożony obraz marginesu tkankowego, w obrębie którego powinien dokonać resekcji guza [9, 13]. Pełny system stałego monitorowania pola operacyjnego ta sama grupa zbudowała dla operacji laparoskopowego usunięcia stercza z powodu raka. Informacja o polu operacyjnym obserwowanym w kamerze laparoskopowej jest uzupełniana o dane uzyskane z głowicy przezodbytniczej [7, 11, 12]. Możliwość obrazowania strefy granicznej między guzem nerki a tkanką nerki niezmienną jest krytyczna dla uzyskania właściwego efektu onkologicznego oraz czynnościowego. Możliwość taką dają obecnie nowoczesne wielorządowe KT oraz MRI. Brak jest jednak nadal możliwości porównania tych obrazów z obrazem pola operacyjnego dla oceny postępu operacji, jego zakresu oraz doszczędności. Laserowe skanowanie powierzchni pola operacyjnego nerki jest pierwszą według naszej wiedzy próbą wglądu w trójwymiarowe pole operacyjne za pomocą skanera laserowego. Informacja w ten sposób uzyskana ma na celu śledzenie na bieżąco postępu zabiegu. Dokładność uzyskiwanych obrazów ze skanera laserowego, szybkość ich osiągania oraz bezpieczeństwo w korzystaniu z nich pozwala dalej prowadzić badania na większej grupie chorych celem walidacji nowej metody obrazowania.

TOMASZ DREWNIAK¹, MACIEJ RZEPECKI¹, KAJETAN JUSZCZAK^{1, 2}, WOJCIECH KWIATEK³,
JAKUB BIELECKI³, KRZYSZTOF ZIELIŃSKI⁴, ANDRZEJ RUTA⁴, ŁUKASZ CZEKIERDA⁴,
ZBIGNIEW MOCZULSKI⁵

AUGMENTED REALITY FOR IMAGE GUIDED THERAPY (ARIGT)
OF KIDNEY TUMOR DURING NEPHRON SPARING SURGERY (NSS):
ANIMAL MODEL AND CLINICAL APPROACH

Streszczenie

Podstawowym problemem w operacjach nerkooszczędnych guzów nerek jest uzyskanie radykalności onkologicznej przy jednoczesnym zachowaniu możliwie największej ilości prawidłowego mięszu nerki. Z tego powodu poprowadzenie optymalnej linii cięcia w mięszu nerki staje się wyzwaniem dla urologa. Celem pracy było opracowanie sposobu obrazowania trójwymiarowego (3D) w trakcie zabiegu operacyjnego usunięcia guza za pomocą laserowego skanera 3D i porównanie uzyskanych obrazów do przedzabiegowego badania Angio-KT. Opracowano model zwierzęcy obrazowania laserowego. Następnie pięciu chorych z guzem nerki operowano, skanując w trakcie zabiegu powierzchnię nerki wraz z guzem oraz guz nerki po jego usunięciu z marginesem tkanki nerkowej. Wyniki eksperymentu pozwalają stwierdzić, że obrazowa kontrola rozległości zabiegów nerkooszczędnych jest możliwa na modelach zwierzęcych i w czasie rzeczywistym w trakcie zabiegów nerkooszczędnych. Porównanie wymiarów guza i łoży po jego usunięciu w nerce uzyskanych w KT przedzabiegowym

z wymiarami guza i łoży w trakcie zabiegu pozwala operatorowi na makroskopową ocenę rozległości wykonanego zabiegu nerkooszczędnego. Taka procedura wspomaga operatora w uzyskaniu radykalności onkologicznej pola oraz zaoszczędzeniu możliwie największej prawidłowej tkanki nerki. Wydolność tej metody obrazowania należy ocenić na większej grupie chorych z guzem nerki kwalifikowanych do zabiegów nerkooszczędnych.

PIŚMIENNICTWO

1. *Novick A.C.*: Nephron-sparing surgery for renal cell carcinoma. *Br J Urol.* 1998; 82: 321–324. — 2. *Van Poppel H., Bamelis B., Oyen R., Baert L.*: Partial nephrectomy for renal cell carcinoma can achieve long-term tumor control. *J Urol.* 1998; 160: 674–678. — 3. *Uzzo R.G., Novick A.C.*: Nephron-sparing surgery for renal tumors: indication, techniques and outcomes. *J Urol.* 2001; 166: 6–11. — 4. *Bosniak M.A.*: Radical nephrectomy for renal cell carcinoma 30 mm or less: long-term follow results. *J Urol.* 1996; 155: 1196–1199. — 5. *Nakamoto M., Nakada K., Sato Y., et al.*: Intraoperative magnetic tracker calibration using a magneto-optic hybrid tracker for 3-D ultrasound-based navigation in laparoscopic surgery. *IEEE Trans Med Imaging.* 2008; 27: 255–270. — 6. *Ukimura O., Gill I.S.*: Imaging-assisted endoscopic surgery: Cleveland clinic experience. *J Endourol.* 2008; 22: 803–810. — 7. *Ukimura O., Gill I.S.*: Augmented reality for computer-assisted image-guided minimally invasive urology. [W:] *Ukimura O., Gill S.* (ed.): *Contemporary interventional ultrasonography in urology.* Springer; 2009: 179–184. — 8. *Shuhaiber J.H.*: Augmented reality in surgery. *Arch Surg.* 2004; 139(2): 170–174. — 9. *Gill I.S., Ukimura O., Rubinstein M., et al.*: Lateral pedicle control during laparoscopic radical prostatectomy; refined technique. *Urology.* 2005; 65: 23–27. — 10. *Ukimura O., Magi-Galluzzi C., Gill I.S.*: Real-time transrectal ultrasound guidance during nerve-sparing laparoscopic radical prostatectomy: impact on surgical margins. *J Urol.* 2006; 175: 1304–1310.
11. *Ukimura O., Okihara K., Kamoi K., et al.*: Intraoperative ultrasonography in an era of minimally invasive urology. *Int J Urol.* 2008; 15: 673–680. — 12. *Frangioni J.V.*: New technologies for human cancer imaging. *J Clin Oncol* 2008; 26: 4012–4021. — 13. *De Jong B.W., Schut T.C., Maquelin K., et al.*: Discrimination between nontumor bladder tissue and tumor by Raman spectroscopy. *Anal Chem* 2006; 78: 7761–7769. — 14. *Strong V.E., Humm J., Russo P., et al.*: A novel method to localize antibody-targeted cancer deposits intraoperatively using handheld PET beta and gamma probes. *Surg Endosc* 2008; 22: 386–391. — 15. *Pierce M.C., Javier D.J., Richards-Kortum R.*: Optical contrast agents and imaging systems for detection and diagnosis of cancer. *Int J Cancer* 2008; 123: 1979–1990. — 16. *Aoki T., Yasuda D., Shimizu Y., et al.*: Image-guided liver mapping using fluorescence navigation system with indocyanine green for anatomical hepatic resection. *World J Surg* 2008; 32: 1763–1767. — 17. *Ishizawa T., Fukushima N., Shibahara J., et al.*: Real-time identification of liver cancers by using indocyanine green fluorescent imaging. *Cancer* 2009; 115: 2491–2504. — 18. *Themelis G., Yoo J.S., Soh K.S., Schulz R., Ntziachristos V.*: Realtime intraoperative fluorescence imaging system using light-absorption correction. *J Biomed Opt* 2009; 14: 064012. — 19. *Troyan S.L., Kianzad V., Gibbs-Strauss S.L., et al.*: The FLARE intraoperative near-infrared fluorescence imaging system: a first-in-human clinical trial in breast cancer sentinel lymph node mapping. *Ann Surg Oncol* 2009; 16: 2943–2952. — 20. *Tagaya N., Yamazaki R., Nakagawa A., et al.*: Intraoperative identification of sentinel lymph nodes by near-infrared fluorescence imaging in patients with breast cancer. *Am J Surg* 2008; 195: 850–853.
21. *Min W., Lu S., Chong S., Roy R., Holtom G.R., Xie X.S.*: Imaging chromophores with undetectable fluorescence by stimulated emission microscopy. *Nature* 2009; 461: 1105–1109.

— **22.** *Nabavi A., Thurm H., Zountzas B., et al.*: Five-aminolevulinic acid for fluorescence-guided resection of recurrent malignant gliomas: a phase II study. *Neurosurgery* 2009; 65: 1070–1076.

¹ Oddział Urologii
Szpital Specjalistyczny im. Ludwika Rydygiera,
Kraków

² Katedra Patofizjologii
Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum

³ Instytut Fizyki Jądrowej
im. Henryka Niewodniczańskiego
Polska Akademia Nauk, Kraków

⁴ Katedra Informatyki
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

⁵ Zakład Diagnostyki Obrazowej
Szpital Specjalistyczny im. Ludwika Rydygiera,
Kraków

Adres do korespondencji:

dr med. Tomasz Drewniak
Oddział Urologii
Szpital Specjalistyczny im. Ludwika Rydygiera
os. Złotej Jesieni 1, 31-826 Kraków
tel.: 12 646 87 64, fax: 12 646 82 49
e-mail: urologiarydygier@vp.pl