

Andrzej RYNIWICZ<sup>1</sup>, Anna M. RYNIWICZ<sup>2</sup>, Łukasz BOJKO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> POLITECHNIKA KRAKOWSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, LABORATORIUM METROLOGII WSPÓŁRZĘDNOŚCIOWEJ,

Al. Jana Pawła II nr 37, 30-864 Kraków

<sup>2</sup> AGH AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I ROBOTYKI, KATEDRA KONSTRUKCJI I EKSPLOATACJI MASZYN, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

## Pomiary powierzchni stawowych z wykorzystaniem metody współrzędnościowej i obrazowania tomograficznego

Dr inż. Andrzej RYNIWICZ

Jest adiunktem na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej w Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej. Działalność naukowa dotyczy między innymi zastosowania laserowych systemów pomiarowych do oceny dokładności funkcjonowania obrabiarek, diagnozowania geometrii oraz struktur wewnętrznych biołożysk z wykorzystaniem tomografii komputerowej rentgenowskiej i rezonansu magnetycznego oraz metod oceny dokładności odwzorowania kształtu w tomografii komputerowej. Dziedzina naukowa: metrologia.

e-mail: [andrzej@ryniewicz.pl](mailto:andrzej@ryniewicz.pl)



Dr hab. inż. Anna M. RYNIWICZ

Profesor na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie oraz kierownik Pracowni Materiałoznawstwa i Technologii Biomateriałów Stomatologicznych Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego. Uprawiane dziedziny: biomechanika w medycynie, biomateriały zastępujące utracone funkcje tkanek, biotribologia, bioreologia i bioinżynieria.

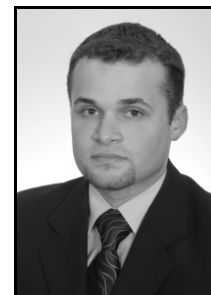
e-mail: [anna@ryniewicz.pl](mailto:anna@ryniewicz.pl)



Mgr inż. Łukasz BOJKO

Mgr inż. Łukasz Bojko jest doktorantem na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. Ukończył kierunek Mechanika i Budowa Maszyn na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Tematyka naukowa to: wykorzystanie nowych technologii materiałowych do zastosowań medycznych, technologia laserowego spiekania z proszków metali, konstrukcje bioinżynierskie.

e-mail: [lbojko@agh.edu.pl](mailto:lbojko@agh.edu.pl)



**Keywords:** articular surface, measurement, mapping the shape, computed tomography, coordinate measuring technology.

### 1. Wprowadzenie

W technikach obrazowania stawów z wykorzystaniem tomografii komputerowej (CT) bardzo ważnym zagadnieniem jest identyfikacja błędów dokładności odwzorowania kształtów rzeczywistych przez wygenerowane modele przestrzenne.

Celem opracowania była ocena niedokładności odwzorowania kształtu powierzchni stawowych stawu kolanowego w rekonstrukcjach 3D wyznaczonych na podstawie obrazowania CT, a odniesionych do pomiarów w oparciu o badania współrzędnościowe [1-3].

### 2. Materiał i metoda

Materiałem badań były końce dalsze kości udowej z prawidłowymi powierzchniami stawowymi na kłykciu przysrodkowym i bocznym. Materiał pochodził z preparatów kadawerskich 5-ciu stawów kolanowych mężczyzn z przedziału wiekowego 30-40 lat. Na przeprowadzenie badań była zgoda Komisji Bioetycznych Uniwersytetu Jagiellońskiego [4] oraz Komisji Bioetycznej Izby Lekarskiej w Krakowie [5]. Bezpośrednio po pobraniu stawy poddawano obrazowaniu CT a następnie rozseparowaniu i ocenie makroskopowej oraz mikroskopowej. Z uwagi na skomplikowaną geometrię stawów i zapewnienie jednakowych warunków pomiaru kształtu powierzchni stawowych, przy przeprowadzaniu badań z zastosowaniem CT i WMP opracowano modele – jako odlewy z supertwardego gipsu syntetycznego klasy V.

### Streszczenie

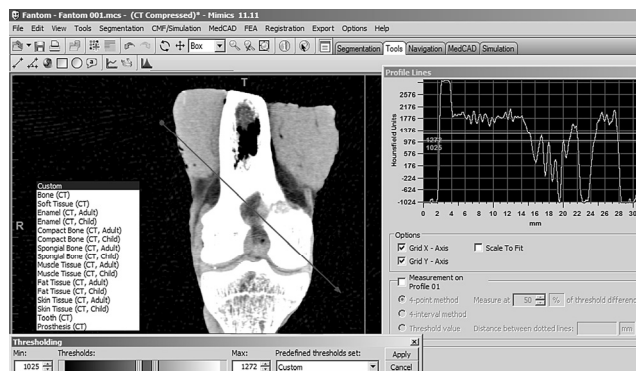
Celem opracowania była ocena niedokładności odwzorowania kształtu powierzchni stawowych stawu kolanowego w rekonstrukcjach wyznaczonych na podstawie obrazowania tomografią komputerową (CT). Ocena dokładności odwzorowania kształtu powierzchni stawowych polegała na porównaniu modeli numerycznych otrzymanych z CT z modelami referencyjnymi. W ocenie dokładności odwzorowania w CT stwierdzono, że w 80% odchyłki niedopasowania nie przekraczały  $\pm 0,5$  mm. Wartości maksymalne do  $\pm 1$  mm wystąpiły w strefach największych pochyleń i wypukłości: na zbroczu dołu międzykłykciowego oraz w połowie wysokości kłykcia kości udowej.

**Słowa kluczowe:** powierzchnie stawowe, pomiary, odwzorowanie kształtu, tomografia komputerowa, współrzędnościowa technika pomiarowa.

### Measurements of articular surfaces using the method of coordinate and computed tomography

#### Abstract

The aim of the paper is to assess the inaccuracy of mapping the shape of articular surfaces of a knee joint in 3D reconstructions based on CT imaging, and related to measurements based on coordinate tests. The test material were further ends of the femur with normal articular surfaces of the medial and lateral condyle. The material came from cadaver specimens. The models were subjected to CT imaging and tested on WMP. CT was performed in the Laboratory of Diagnostic Imaging Hospital of John Paul II on 64 layered tomography. The reference coordinate test was performed in the Coordinate Metrology Laboratory of the Cracow University of Technology on a machine Leitz PMM 12106. Assessment of the accuracy of mapping the shape of the articular surface of the medial and lateral condyles of the femur distal end consisted in comparison of spatial models using the best fit. The results are presented in the form of a map of deviations of the shape mapping accuracy. In the assessment of the CT mapping accuracy it was found that 80% of the mismatch deviation did not exceed  $\pm 0.5$  mm. The maximum values for  $\pm 1$  mm occurred in the zones of the greatest inclination and bulge: the slope of the intercondylar bottom, between the medial and lateral condyles, and in the middle of the femoral condyles on their outer surfaces, where there are strong highlights.

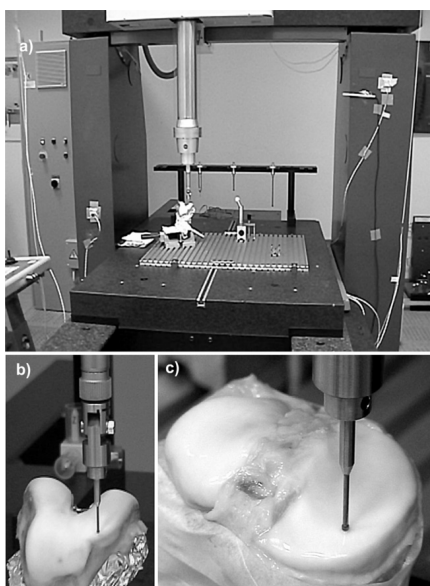


Rys. 1. Dwuwymiarowy obraz stawu kolanowego z CT oraz histogram rozkładu odcieni szarości wzdłuż zadanej linii

Fig. 1. Two-dimensional image of the knee joint with CT and gray histogram distribution along the given line

Do odwzorowania negatywowego końca dalszego kości udowej i końca bliższego kości piszczelowej wykorzystano najnowszej generacji protetyczne, wyciskowe masy addycyjne o dwóch konsystencjach: Bisico heavy body i Bisico S 4. Modele gipsowe poddawano obrazowaniu CT oraz badaniom na WMP. Badania CT przeprowadzono w Pracowni Diagnostyki Obrazowej Szpitala im. Jana Pawła II na 64 warstwowym tomografie Siemens Somatom Sensation Cardiac w projekcjach strzałkowych i czołowych (rys. 1).

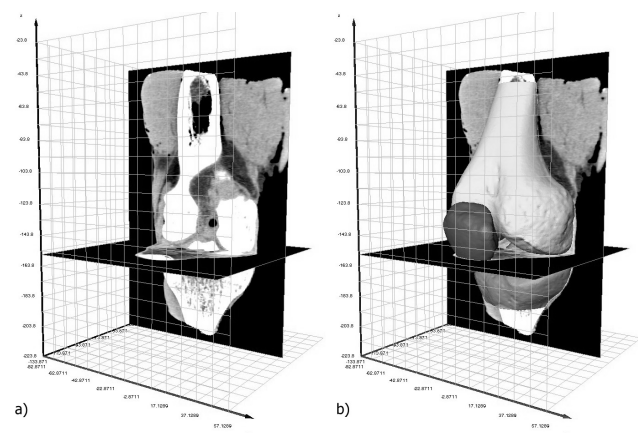
Referencyjne badania współrzędnościowe wykonano w Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechniki Krakowskiej na maszynie PMM 12106 firmy Leitz (rys. 2) [1, 6].



Rys. 2. Badanie stawu kolanowego na WMP: a) widok ogólny, b) pomiar powierzchni stawowych na kłykciach kości udowej, c) pomiar powierzchni stawowych na kłykciach kości piszczelowej

Fig. 2. Testing of the knee joint on WMP: a) general view, b) measurement of the articular surface of the femoral condyles, c) measurement of the articular surface of the tibia condyles

Strategia badawcza obejmowała rekonstrukcje 3D modeli na podstawie obrazowania CT oraz modeli referencyjnych na podstawie pomiarów współrzędnościowych na WMP (rys. 3) [2, 7].



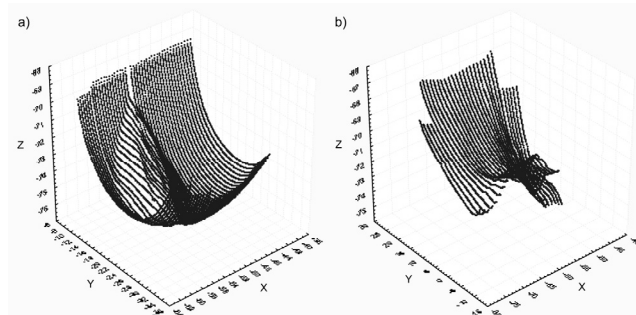
Rys. 3. Rekonstrukcja 3D stawu kolanowego na podstawie obrazowania CT: a) przekrój w płaszczyźnie czołowej, b) widok

Fig. 3. 3D reconstruction of the knee joint based on CT imaging: a) section in the frontal plane, b) view

### 3. Wyniki badań i omówienie

Ocena dokładności odwzorowania kształtu powierzchni stawowych na kłykciach przyśrodkowych i bocznych końca dalszego kości udowej polegała na porównaniu modeli przestrzennych metodą najlepszego dopasowania z wykorzystaniem programu

Poly Works i określeniu wartości odchyłek odwzorowania dla analizowanych punktów. Pomiary powierzchni stawowych przeprowadzono bezpośrednio po rozseparowaniu naturalnych stawów oraz na utworzonych modelach gipsowych, z uwagi na utratę wody z chrząstki stawowej podczas pomiarów i ewentualną zmianę kształtu w trakcie długoczasowych badań na WMP (rys. 4).

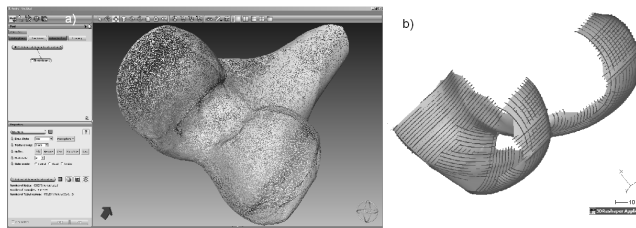


Rys. 4. Wyniki badań na WMP uzyskane przez skanowanie powierzchni stawowych: a) końca dalszego kości udowej, b) końca bliższego kości piszczelowej

Fig. 4. The test results on the WMP obtained by scanning the articular surfaces: a) the distal end of the femur, b) the proximal end of the tibia

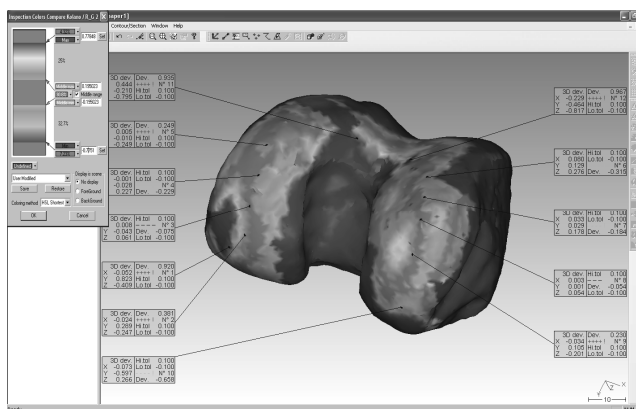
Rekonstrukcja modeli 3D na podstawie CT, po procedurach analizy obrazów 2D w dicomach, polegała na ich łączeniu i generowaniu powierzchni przestrzennych odpowiadających kształtom struktur anatomicznych [8, 9].

Ocenę dokładności powierzchni stawowych na kłykciach przyśrodkowych i bocznych badanych preparatów przeprowadzono przez numeryczne porównanie modeli referencyjnych 3D z modelami bryłowymi uzyskanymi na podstawie CT (rys. 5).



Rys. 5. Koniec dalszy kości udowej: a) z wygenerowaną siatką powierzchniową o zadanej liczbie punktów węzłowych, b) z utworzoną powierzchnią stanowiącą referencyjny model 3D powierzchni stawowych na kłykciach przyśrodkowym i bocznym

Fig. 5. The distal end of the femur: a) the generated mesh surface for a given number of nodes, b) with the created surface representing the reference 3D model of the articular surfaces on the medial and lateral condyles



Rys. 6. Mapa odchyłek odwzorowania kształtu powierzchni stawowych na kłykciach przyśrodkowym i bocznym końca dalszego kości udowej uzyskanych z obrazowania CT i powierzchni referencyjnej z WMP

Fig. 6. The map of deviations of mapping the shape of the articular surface of the medial and lateral condyles of the distal femur obtained with CT imaging and the reference surface of the WMP

Na rys. 6 przedstawiono wyniki porównania dla preparatu 1717 w formie mapy odchyłek dokładności odwzorowania kształtu.

W ocenie dokładności odwzorowania kształtu w CT w porównaniu do badań *in vitro* stwierdzono, że w 80% odchyłki niedopasowania nie przekraczały  $\pm 0,5$  mm. Wartości maksymalne do  $\pm 1$  mm wystąpiły w strefach największych pochyłości i wypukłości: na zboczu dołu międzykłykciowego, pomiędzy kłykiem przyśrodkowym i bocznym (dół ten zawiera więzadła krzyżowe stawu kolanowego) oraz w połowie wysokości kłykci kości udowej na ich zewnętrznych powierzchniach, gdzie znajdują się silne uwypuklenia, określane mianem nadkłykcia przyśrodkowego i bocznego, do którego przyczepione są więzadła poboczne.

#### 4. Wnioski

Zastosowanie techniki współrzędnościowej do analizy kształtów powierzchni stawowych stawu kolanowego z wykorzystaniem preparatów kadawerskich i ich modeli pozwoliło odpowiedzieć na pytanie czy w zaawansowanych badaniach obrazowych CT występują błędy odwzorowania kształtu i w jakich obszarach należy się liczyć z możliwością występowania takich błędów.

*Pracę zrealizowano w ramach działalności statutowej AGH według umowy 11.11.130.887.*

#### 5. Literatura

- [1] Ryniewicz A.: Ocena dokładności odwzorowania kształtu powierzchni elementów biologicznych w badaniach in-vivo oraz in-vitro. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, seria Mechanika z. 248, Warszawa 2013.
- [2] Ryniewicz A.M.: Identification, modelling and biotribology of human joints. AGH University of Science and Technology Press Krakow 2011.
- [3] Smith T.O., Simpson M., Ejindu V., Hing C.B.: The diagnostic test accuracy of magnetic resonance imaging, magnetic resonance arthrography and computer tomography in the detection of chondral lesions of the hip. Eur J Orthop Surg Traumatol. 3, 2012.
- [4] Opinia nr 146 KBET/434/B/2003 z dnia 29 maja 2003 r. Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- [5] Opinia nr 146 KBL/OIL/2003 z dnia 11 czerwca 2003 r. Komisji Bioetycznej przy Okręgowej Izbie Lekarskiej w Krakowie.
- [6] Śladek J.: Dokładność pomiarów współrzędnościowych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2011.
- [7] Skalski A.: Segmentacja 3D danych medycznych pochodzących z tomografii komputerowej oraz endoskopowych zapisów wideo. Prace naukowe Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH Kraków 2009, 1-10.
- [8] Ryniewicz A., Accuracy assessment of shape mapping using computer tomography. Metrology & Measurement Systems, Vol. 3, 2010, 481-492.
- [9] Ryniewicz A.M., Skrzat J., Ryniewicz A., Ryniewicz W., Walocho J.: Geometry of the articular facet of the Lateran Atlanto-axial joints in the case of occipitalization. Folia Morphologica vol. 69, nr 3, 2010, 147-154.

otrzymano / received: 18.12.2012

przyjęto do druku / accepted: 01.02.2013

artykuł recenzowany / revised paper

#### INFORMACJE

www.  **energoelektronika.pl**  
WORTAL BRANŻOWY



**28.03.2013 - Stalowa Wola**  
**18.04.2013 - Wałbrzych**  
**23.05.2013 - Rzeszów**  
**20.06.2013 - Trójmiasto**  
**10.10.2013 - Bydgoszcz**  
**04.12.2013 - Warszawa**

**Ilość miejsc  
ograniczona**

## Regionalne Seminary / Szkolenia dla Służb Utrzymania Ruchu



Jeżeli jesteś zainteresowany uczestnictwem w Seminarium, zaprezentowaniem produktu lub nowego rozwiązania napisz do nas: [marketing@energoelektronika.pl](mailto:marketing@energoelektronika.pl)  
Energoelektronika.pl tel. (+48) 22 70 35 291

Partnerzy:

