

**Andrzej RYNIIEWICZ<sup>1</sup>, Anna M. RYNIIEWICZ<sup>2,3</sup>, Jerzy SŁADEK<sup>1</sup>, Renata KNAPIK<sup>1</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

<sup>3</sup> UNIwersytet Jagielloński, COLLEGIUM MEDICUM, WYDZIAŁ LEKARSKI, KATEDRA PROTETYKI STOMATOLOGICZNEJ,

ul. Montelupich 4, 31-155 Kraków

## Pomiary parametrów morfologiczno-czynnościowych stawu kolanowego z wykorzystaniem obrazowania rezonansem magnetycznym

**Dr inż. Andrzej RYNIIEWICZ**

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)



**Prof. dr hab. inż. Jerzy SŁADEK**

Zorganizował i kieruje Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej. Specjalizuje się w metrologii stosowanej w procesach wytwarzania a szczególnie w metrologii współrzędnościowej. Stale współpracuje z wieloma ośrodkami badawczymi oraz laboratoriami w Europie, w tym z PTB w Niemczech, w zakresie rozwoju metod kontroli dokładności pomiarów i wzorcowania współrzędnościowych systemów pomiarowych.

e-mail: [sladek@mech.pk.edu.pl](mailto:sladek@mech.pk.edu.pl)



**Dr hab. inż. Anna M. RYNIIEWICZ**

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.

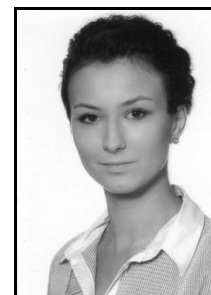
e-mail: [anna@ryniewicz.pl](mailto:anna@ryniewicz.pl)



**Mgr inż. Renata KNAPIK**

Doktorantka na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej w Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej. Absolwentka kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej. Interesuje się zagadnieniami związanymi z zapewnieniem jakości oraz adaptacją współrzędnościowych systemów pomiarowych w przemyśle. Asystent Systemu Zarządzania Jakością według kryterium PCBC.

e-mail: [re.knapik@gmail.com](mailto:re.knapik@gmail.com)



### Streszczenie

Celem była identyfikacja kształtu i położenia struktur stawu kolanowego obrazowanego rezonansem magnetycznym (MR) w stabilizowanej pozycji, w aspekcie rozkładu grubości chrząstki stawowej. Badano prawidłowe stawy kolanowe. Obrazowanie przeprowadzono przy wykorzystaniu aparatu MR typu otwartego ze stabilizatorem kąta zgięcia kolana w przekrojach strzałkowych, czołowych i horyzontalnych, w wybranych pozycjach kątowych. Pomiary chrząstki budującej powierzchnie stawowe stawu kolanowego wykazały znaczne zróżnicowanie jej grubości oraz pofalowania z charakterystycznym przesunięciem fali.

**Słowa kluczowe:** staw kolanowy, parametry morfologiczno-czynnościowych, identyfikacja kształtu, rezonans magnetyczny, chrząstka stawowa.

### Measurements of morphological and functional parameters of the knee joint using magnetic resonance imaging

#### Abstract

The aim of the study was to use the MRI to identify the shape and position of the structures of knee joints in a stabilized position, in terms of the analysis of joint cartilage thickness on femoral condyles, tibia condyles and the patella. There were studied normal knee joints. Imaging was performed with use of an open-type gradient coil MR apparatus with a knee bending angle stabilizer. The research strategy consisted of imaging: sagittal sections in a fixed position of the femoral bone relative to tibia, in selected sagittal sections for stabilized position of the femur relative to tibia for angles ranged from -10 degrees to 50 degrees, at 5 degree intervals, in the frontal sections with physiological extension, in the horizontal sections with physiological extension. Based on the MR imaging, there was measured the distribution of the thickness of joint cartilage that covered the femoral condyles, condyles of tibia and patella. The measurements of the cartilage building the surfaces of the knee joint showed significant variation in its thickness and folds with a characteristic wavelength shift in the tested sections. Variable thickness and uneven structures can substantially affect the conditions of joint lubrication and transfer of the locomotive

load. Introduction of the stabilized position of the femur relative to tibia to the MR imaging allows useful identification of particular cartilage layers that work together.

**Keywords:** knee joint, morphological and functional parameters, shape identification, magnetic resonance, joint cartilage.

### 1. Wprowadzenie

Na obecnym poziomie zaawansowania metod diagnostycznych w ortopedii występuje konieczność dokonywania nieinwazyjnych liniowych i kątowych pomiarów oraz określenia pozycji współpracujących struktur stawowych [1, 2]. Poznanie budowy, wyznaczenie parametrów morfologicznych oraz wzajemnych relacji elementów wchodzących w kontakt daje możliwość oceny czynności stawu, zjawisk tribologicznych oraz postawienia prawidłowej diagnozy w stanach patologicznych [3, 4]. W obrazowaniu stawów, szczególnie przydatną, ale kosztowną metodą jest obrazowanie za pomocą rezonansu magnetycznego (MR). Badanie MR przewyższa inne metody oceny wewnętrznej budowy stawu kolanowego. Jest techniką nieinwazyjną i bezbolesną, a przede wszystkim zapewnia wysoki kontrast tkankowy dla tkanek miękkich. Pełne badanie stawu kolanowego obejmuje ocenę łąkotek, więzadeł, chrząstek stawowych i szpiku kostnego. Może również dawać informacje o zmianach w płynie stawowym [5].

Celem opracowania była identyfikacja kształtu i położenia struktur stawu kolanowego obrazowanego MR w warunkach stabilizowanej pozycji, w aspekcie analiz rozkładów grubości chrząstki stawowej na kłykciach kości udowej, kłykciach kości piszczelowej oraz na rzepce.

### 2. Materiał i metoda

Badano prawidłowy staw kolanowy prawy mężczyzny lat 24 oraz stawy kolanowe prawidłowe pochodzące z 10 preparatów kadawerskich w przedziale wiekowym 30-40 lat (rys. 1).



Rys. 1. Badany preparat kadawski prawidłowego stawu kolanowego – powierzchnia stawowa kłykcia przyśrodkowego piszczeli z wypreparowaną łąkotką

Fig. 1. The tested cadaver specimen of a proper knee joint - articular surface of the tibia medial condyle the meniscus dissected

Obrazowanie przeprowadzono przy wykorzystaniu aparatu MR typu otwartego Siemens C wraz z kończynową cewką gradientową oraz ze stabilizatorem pozycji kątowej kolana. Badania zrealizowano w Pracowni Diagnostyki Obrazowej Szpitala im. Jana Pawła II, a stabilizator został skonstruowany i wykonany na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH. Protokół badań stawu kolanowego obejmował obrazy T1 – i T2 – zależne w przekrojach strzałkowych, czołowych i horyzontalnych wykonane techniką cienkowarstwową. Do uzyskania obrazów T2 – zależnych stosowano sekwencję szybkiego echa spinowego uzupełnianą przez supresję tłuszczu. Dla uzyskania dobrej rozdzielczości przestrzennej zastosowano małe pole widzenia (FOV). Obrazowanie polegało na wykonaniu sekwencyjnego skanowania struktur stawowych w różnych procedurach.

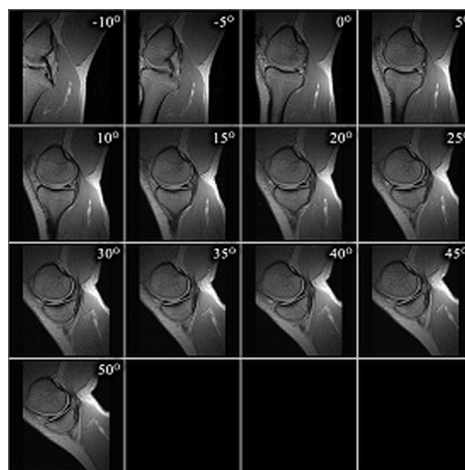


Rys. 2. Wybrane obrazy MR stawu kolanowego w przekrojach strzałkowych w zgięciu kości udowej względem kości piszczeli o kąt 20°

Fig. 2. Selected MR images of the knee in sagittal sections in the crook of the femur relative to the tibia bone at angle of 20 degrees

Strategia badawcza obrazowania struktur stawowych obejmowała następujące procedury:

- Obrazowanie w przekrojach strzałkowych w jednej, ustalonej pozycji kątowej kości udowej względem kości piszczeli, (rys. 2),
- Obrazowanie w wybranym przekroju strzałkowym dla stabilizowanych pozycji kątowych kości udowej względem kości piszczelowej dla zakresu kątów od -10° do 50° co 5°, (rys. 3),
- Obrazowanie w przekrojach czołowych w fizjologicznym wyproście (rys. 4),
- Obrazowanie w przekrojach horyzontalnych w fizjologicznym wyproście.



Rys. 3. Wybrane obrazy MR stawu kolanowego w przekroju strzałkowym przy różnych kątach usytuowania kości udowej względem kości piszczeli od -10° do 50° co 5°

Fig. 3. Selected MR images of the knee joint in sagittal section at different angles of the femur position relative to the tibia bone, from -10 degrees to 50 degrees at 5 degree



Rys. 4. Wybrane obrazy MR stawu kolanowego w przekrojach czołowych w fizjologicznym wyproście

Fig. 4. Selected MR images of the knee in the frontal sections in physiological flexion

Po przeprowadzeniu badań, na podstawie analizy otrzymanych obrazów istnieje możliwość wykonania w każdej pozycji rekonstrukcji 3D. Kolejne rekonstrukcje można łączyć w odwzorowanie dynamiczne przedstawiające zmiany położenia elementów współpracujących w stawie kolanowym w badanych przedziałach zmian położenia kątowych. Wykonane obrazowania pozwalały na ustalenie i pomiar relacji struktur stawowych w całej ruchomości, a nie jak dotychczas w jednym ustawieniu.

### 3. Wyniki i omówienie badań

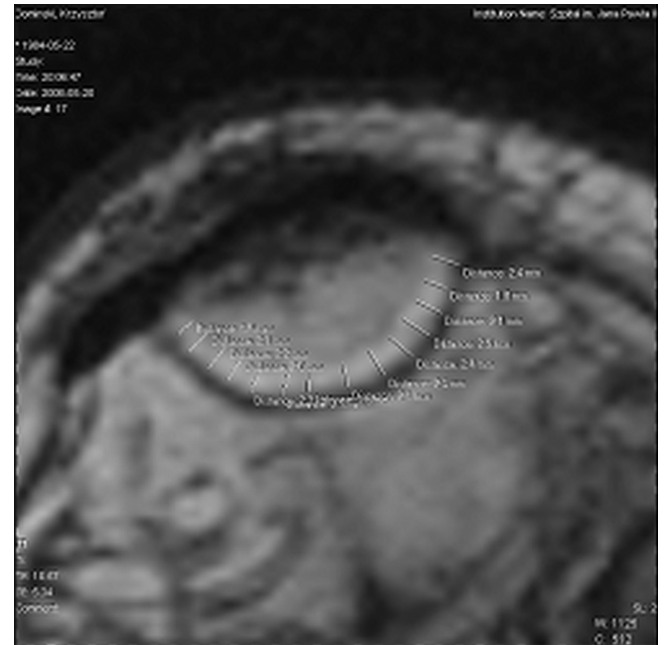
W oparciu o obrazowanie MR dokonano pomiarów rozkładu grubości chrząstki pokrywającej powierzchnie stawowe kłycki kości udowej i piszczelowej (rys. 5 i 6) oraz rzepki (rys. 7).

Pomiary przeprowadzono przy pomocy programu Siemens Synco Fast View.



Rys. 5. Obraz MR stawu kolanowego w przekroju strzałkowym w fizjologicznym wyproście ze zmierzonymi wartościami grubości chrząstki stawowej na przyśrodkowych kłykciach kości udowej i piszczeli

Fig. 5. MR images of the knee in the sagittal section in physiological flexion with the measured values of the joint cartilage thickness of the medial condyle of the femur and tibia



Rys. 7. Obraz MR stawu kolanowego w przekroju horyzontalnym w fizjologicznym wyproście ze zmierzonymi wartościami grubości chrząstki stawowej na rzepce

Fig. 7. MR images of the knee joint in the horizontal section in physiological flexion with the measured values of the joint cartilage thickness on the patella



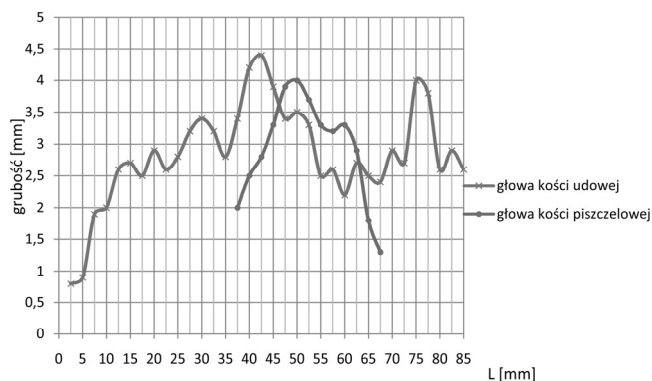
Rys. 6. Obraz MR stawu kolanowego w przekroju czołowym w fizjologicznym wyproście ze zmierzonymi wartościami grubości chrząstki stawowej na kłykciach kości udowej i piszczeli

Fig. 6. MR images of the knee in the frontal section of the physiological flexion with the measured values of the thickness of the joint cartilage on the condyles of the femur and tibia

Dolegliwości bólowe występują wówczas, gdy struktura powierzchni stawowych jest znacznie uszkodzona. Na obecnym etapie leczenia zachowawczego nie ma niestety możliwości jej skutecznej odbudowy. Leczenie objawowe polega na zmniejszeniu bólu i utrzymaniu sprawności stawu.

Nieinwazyjna metoda jej obrazowania ma istotne znaczenie w rozpoznawaniu niewielkich ubytków i chondromalacji. Może służyć w monitorowaniu terapii i przeciwdziałaniu rozwojowi chzs. Większość ubytków chrząstecznych lokalizowana jest wzdłuż powierzchni kłycki kości udowej, a szczególnie w strefie powierzchni stawowej kłycki przyśrodkowego [6, 7]. Uszkodzenie chrząstek klasyfikowane jest następująco: stopień 0 – prawidłowa chrząstka, stopień 1 – zmiany na powierzchni i w strukturze bez ubytków tkanki chrząstecznej; stopień 2 – częściowa utrata grubości chrząstki bez odsłonięcia kości; stopień 3 – odsłonięcie kości. Na badanych powierzchniach stawowych stwierdzono stopień 0. Dla oceny zjawisk tribologicznych, a szczególnie mechanizmu smarowania istotny jest kształt powierzchni stawowych wchodzących w kontakt i rozkład grubości chrząstki budującej te powierzchnie. W badanych wybranych przekrojach przez staw kolanowy można zauważyć, że chrząstka ma zróżnicowany rozkład grubości na powierzchniach stawowych. W przekroju strzałkowym na kłycku przyśrodkowym kości udowej grubość chrząstki zmieniła się w przedziale od 1,9 mm do 4,4 mm, a na kłycku przyśrodkowym piszczeli w przedziale od 1,3 mm do 3,3 mm (rys. 5 i 8).

Rozkład grubości chrząstki charakteryzuje się wyraźnym pofalowaniem, które między kontaktującymi się powierzchniami jest przesunięte w fazie o około 5 mm.



Rys. 8. Wykres rozkładu grubości chrząstki stawowej na kłykciach przyśrodkowych kości udowej i piszczelowej w przekroju strzałkowym

Fig. 8. Distribution of the joint cartilage thickness on the medial condyle of the femur and tibia in the sagittal section

W przekroju czołowym na kłykciach kości udowej grubości chrząstki zmieniały się w przedziale od 1,4mm do 3,7mm, a na kłykciach kości piszczelowej w przedziale od 1,6mm do 3,8mm (rys. 6 i 9). W rozkładach grubości chrząstki na kości udowej stwierdzono liczne pofalowania o amplitudzie około 0,5mm, a na kości piszczelowej pofalowanie o znacznie większej amplitudzie wynoszącej około 1,5mm i większej długości fali.

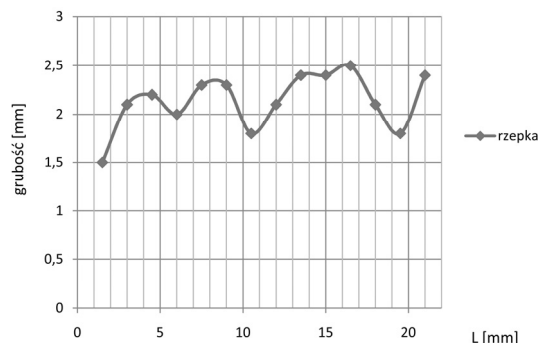


Rys. 9. Wykres rozkładu grubości chrząstki stawowej na kłykciach kości udowej i piszczelowej w przekroju czołowym

Fig. 9. Distribution of the joint cartilage thickness on the femoral condyles and tibia in the frontal section

W przekroju horyzontalnym grubości chrząstki na rzepce zmieniały się w przedziale od 1,5mm do 2,4mm (rys. 7 i 10).

W rozkładzie grubości chrząstki na rzepce stwierdzono pofalowanie o średniej amplitudzie około 0,7mm oraz długości fali 5mm.



Rys. 10. Wykres rozkładu grubości chrząstki stawowej na rzepce w przekroju horyzontalnym

Fig. 10. Distribution of the joint cartilage thickness of the patella in the horizontal section

#### 4. Wnioski

Przeprowadzone pomiary chrząstki budującej powierzchnie stawowe stawu kolanowego wykazały znaczne zróżnicowanie jej grubości oraz pofalowania z charakterystycznym przesunięciem fali w przekrojach strzałkowych, czołowych i horyzontalnych.

Powierzchnie stawowe wchodzące w kontakt w warunkach zgięcia stawu kolanowego charakteryzują się zróżnicowaną grubością i pofalowaniem struktur chrzęstnych, co może zasadniczo wpływać na warunki smarowania stawu i przeniesienie obciążeń lokomocyjnych.

Wprowadzenie do obrazowania MR stabilizowanej pozycji kątownej kości udowej względem kości piszczelowej umożliwia celowaną identyfikację współpracujących warstw chrzęstnych.

#### 5. Literatura

- [1] Ryniewicz A. M.: Analiza mechanizmu smarowania stawu biodrowego człowieka. Uczelniane Wydawnictwo Naukowe – Dydaktyczne AGH, Kraków 2002.
- [2] Ryniewicz A., Traceability needs for geometrical identification of form of biobearing working surface and defect of joint cartilage, Journal Instituto Nazionale di Ricerca Metrologica, Torino 2008, CD.
- [3] Runge V. M., red. Sasiadek M.: Rezonans magnetyczny w praktyce klinicznej, Wydawnictwo Urban i Partner Wrocław 2007.
- [4] Ryniewicz A. M., Ryniewicz A., Zawiejska B., Pasowicz M., Banyań P., Trela F.: The geometrical estimation of the articulation cartilage defect imaged using magnetic resonance. Chirurgia kolana, artroskopia, traumatologia sportowa, Vol. 2, nr 1, 2005, 37-43.
- [5] Benendo-Kapucińska B., red. Pruszyński B.: Radiologia: diagnostyka obrazowa: Rtg, CT, USG, MR i radioizotopy. Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 2005.
- [6] Górecki A.: Uszkodzenia stawu kolanowego. PZWL, Warszawa 2006.
- [7] Priolo F.: Bone and joint imaging in rheumatic and orthopedic diseases. GPAnet S.R.L Milan, 2002.

otrzymano / received: 14.12.2012

przyjęto do druku / accepted: 01.02.2013

artykuł recenzowany / revised paper

## INFORMACJE

### Informacja redakcji dotycząca artykułów współautorskich

W miesięczniku PAK od numeru 06/2010 w nagłówkach artykułów współautorskich wskazywany jest autor korespondujący (Corresponding Author), tj. ten z którym redakcja prowadzi wszelkie uzgodnienia na etapie przygotowania artykułu do publikacji. Jego nazwisko jest wyróżnione drukiem pogrubionym. Takie oznaczenie nie odnosi się do faktycznego udziału współautora w opracowaniu artykułu. Ponadto w nagłówku artykułu podawane są adresy korespondencyjne wszystkich współautorów.

Wprowadzona procedura wynika z międzynarodowych standardów wydawniczych.