

# TEORETYCZNO DOŚWIADCZALNA ANALIZA STABILNOŚCI ENDOPROTEZ STAWU BIODROWEGO

WOJCIECH WIĘCKOWSKI, MONIKA GIERZYŃSKA - DOLNA

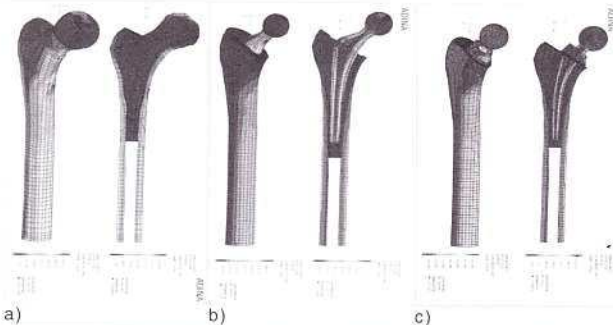
INSTYTUT OBRÓBKİ PLASTYCZNEJ,  
INŻYNIERII JAKOŚCI I BIOINŻYNIERII  
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA W CZĘSTOCHOWIE

## Wprowadzenie

Pomimo znacznego postępu w zakresie konstruowania endoprotez stawu biodrowego jak też stosowania nowych rodzajów biomateriałów, w dalszym ciągu znaczna część zabiegów kończy się niepowodzeniem objawiającym się utratą stabilności trzpienia lub panewki endoprotezy [1]. Zastosowanie nowoczesnego oprogramowania inżynierskiego, opartego na metodzie elementów skończonych, wprowadziło ogromny postęp w zakresie modelowania układów biologicznych jakim jest staw biodrowy [2,3,8]. Badania te ukierunkowane są głównie na optymalizację konstrukcji implantów [4], jak też zastosowaniu nowych materiałów zarówno na trzpień endoprotezy jak i parę trącą "głowa-panewka" [7].

## Obliczenia numeryczne rozkładu naprężeń w układzie kość-cement-endoproteza stawu biodrowego

Analizie numerycznej poddano trzy typy endoprotez cementowych: Weller, Centrament oraz Centega firmy Aesculap. Obliczenia przeprowadzono dla trzech rodzajów materiału trzpienia; stopu CoCrMo, Ti6Al4V oraz Ti-35Nb-5Ta-7Zr [5]. Model geometryczny kości udowej opracowany został na podstawie danych udostępnionych przez Instytut Ortopedii Rizzoli z Bolonii. W modelu zostały wyróżnione dwa obszary zajmowane przez: kość korową oraz kość gąbczastą, które modelowano jako materiał sprężysty izotropowy. W modelu obciążeniowym założono oddziaływanie sił przyłożonych do powierzchni główki endoprotezy  $P1=2.47BW$  oraz krętarza wielkiego kości udowej



**RYS.1. Rozkład naprężeń zredukowanych wg Hubera [MPa]: a) w kości udowej prawidłowej, b) trzpień typu Weller, c) trzpień typu Centrament.**

**FIG.1. Reduced stress distribution [MPa]: a) femur without implant, b) Weller type stem, c) Centrament type stem.**

# THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF HIP JOINT ENDOPROSTHESES STABILITY

...!1...

WOJCIECH WIĘCKOWSKI, MONIKA GIERZYŃSKA - DOLNA

INSTITUTE OF METAL WORKING,  
QUALITY ENGINEERING AND BIOMECHANICS  
TECHNICAL UNIVERSITY OF CZĘSTOCHOWA

## Introduction

Despite of considerable progress in a field of designing hip joint endoprostheses and developing new biomaterials, still significant amount of procedures fails due to loss of endoprosthesis acetabulum or stem stability [1]. Modern engineering software based on the Finite Elements Method has brought a great progress in the field of modeling the biological systems i.e. hip joints. [2,3,8]. These tests are mainly directed towards optimization of implant construction [4] and use of new materials for both the endoprosthesis stem and a frictional pair "head-acetabulum" [7].

## Numerical calculation of stress distribution in the bone-cement-hip joint endoprosthesis system

Three types of cement endoprostheses: Weller, Centrament and Centega (Aesculap) have been subjected to the numerical analysis. Calculations have been performed for three different stem materials: CoCrMo alloy, Ti6Al4V and Ti-35Nb-5Ta-7Zr [5]. The geometrical model of femur has been elaborated on the basis of the data given by Insituti Ortopedici Rizzoli, Bologna. In the model two regions occupied by cortical and cancellous bones have been distinguished and modeled as isotropic elastic material. In the loading model force imposed to the endoprosthesis head has been assumed a  $P1=2.47BW$  and force imposed to the femur -  $P2=1.55BW$  [2, 11].

In FIGURE 1 some hypothetical calculation results of Huber's reduced stress distribution in the analyzed models for stems made of CoCrMo alloy have been shown.

## Fatigue tests of the bone-cement-implant system

One of the main reasons of hip arthroplasty failure seems to be the loosening of endoprosthesis stem in the adjacent zone. Cement adjacent zone, in contrast to both implant and the bone (having ability to self-reconstruction), is the most susceptible to fatigue failure. Fatigue susceptibility of the cement zone can additionally increase if the defects or imperfection generating stress concentration are present [6]. The tests have been performed on the simulator allowing static and dynamic tests of fatigue life of the joint of hip endoprosthesis and human femur (FIG.2).

Radiological assessment has been used to determine the implant stability. Therefore radiographs were made every  $1.5 \cdot 10^6$  loading cycles. Tests were terminated after  $N=10.5 \cdot 10^6$  cycles.

P2=1.55BW [2,11].

RYS.1 przedstawia przykładowe wyniki obliczeń rozkładu naprężeń zredukowanych wg Hubera w analizowanych modelach dla trzpieni wykonanych ze stopu CoCrMo.

## Badania zmęczeniowe układu kość - cement- implant

Jedną z głównych przyczyn niepowodzeń alloplastyki stawu biodrowego jest obluźnianie trzpienia endoprotezy w strefie przylegania. Cementowa strefa przylegania w przeciwieństwie do implantu jak i do kości, która posiada zdolność do samoprzebudowy, jest najbardziej podatna na zniszczenie zmęczeniowe. Podatność strefy cementowej na zniszczenie może dodatkowo wzrastać jeśli obecne są defekty lub pustki, wywołujące koncentracje naprężeń [6]. Badania prowadzone są na symulatorze umożliwiającym badania statyczne jak i dynamiczne trwałości połączenia endoprotezy stawu biodrowego z kością udową człowieka (RYS.2).

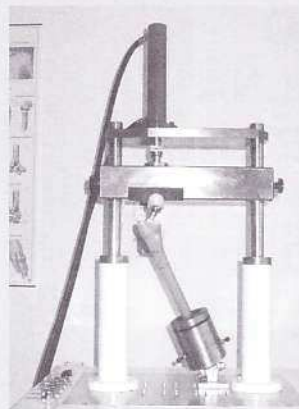
Do określenia stabilności implantu zastosowano ocenę radiologiczną. W tym celu wykonywano radiogramy badanego układu po każdorazowej 1,5·10<sup>6</sup> liczbie cykli obciążenia. Badania zakończono po liczbie cykli N = 10,5·10<sup>6</sup>.

## Wnioski

Wartości naprężeń zredukowanych występujące w obszarze kości są jednym z czynników wpływających na występujące w niej procesy adaptacyjne. Różnice we własnościach mechanicznych oraz geometrii analizowanych trzpieni endoprotez wpływają znacząco na zmiany stanu naprężenia występującego w rozpatrywanych układach.

## Podziękowania

Praca finansowana jest przez Komitet Badań Naukowych - projekt badawczy T08A 041 20



RYS.2. Widok stanowiska badawczego  
FIG.2. Test stand view.



RYS.3. Radiogram układu kość-cement-implant  
FIG.3. Radiograph of the bone-cement-implant system

## Discussion

Reduced stresses values present in the bone region are one of the factors affecting the adaptive processes there. Differences in the mechanical properties and geometry of the analyzed endoprostheses stems influenced significantly on changes of the stress state in the discussed systems.

## Acknowledgements

These investigations are supported by the Polish State Committee for Scientific Research - project No: T08A 041 20

## Piśmiennictwo

## References

- [1]. Biliński P., Wolański R., Gumański R., Mątewski D.: Wyniki leczenia zmian zwyrodnieniowych stawu biodrowego endoprotezoplastyką cementową Wellera. Chirurgia Narządów Ruchu i Ortopedia Polska, LXI, Supl. 3a, 17-20, 1996
- [2]. Będziński R.: Biomechanika inżynierska, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław
- [3]. Prendergast P. J.: Finite element models in tissue mechanics and orthopaedic implant design, Clinical Biomechanics, Vol. 12, No 6, pp 343-366, 1997
- [4]. Dietrich M., Kedzior K., Skalski K.: Design and manufacturing of the human bone endoprostheses using computer-aided system, Journal of Theoretical and applied mechanics, No 3, Vol. 37, 1999
- [5]. Marciniak J.: Biomateriały, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002
- [6]. Hollister S. J., Czynniki mechaniczne wpływające na wyniki leczenia w całkowitej endoprotezoplastyce stawu, Aktualności Ortopedyczne, Tom 2, Nr 1, 1997
- [7]. Gierzyńska-Dolna M.: Tribological problems in natural and artificial human joints. Inżynieria Biomateriałów, 1997, Nr 1, s. 8-12
- [8]. Więckowski W., Gierzyńska-Dolna M.: "Wpływ rodzaju materiału endoprotezy stawu biodrowego na rozkład naprężeń w układzie kość-cement-implant" Acta of Bioengineering and Biomechanics, vol. 3, Suppl. 1, 2001