

Romuald BĘDZIŃSKI, Eugeniusz RUSIŃSKI
Politechnika Wroclawska

BADANIA PRZEMIESZCZEŃ I ODKSZTAŁCEŃ KOŚCI UDOWEJ

Streszczenie. Przedmiotem pracy jest opis budowy modeli oraz rozwój metod badań zjawisk biomechanicznych w stawie biodrowym. Przedstawiono opracowane modele umożliwiające analizę odkształceń i przemieszczeń przy użyciu metody elementów skończonych. Ponadto przeprowadzono badania przemieszczeń rzeczywistej kości udowej przy modelowaniu złożonego stanu obciążeń stosując metodę fotografii plamkowej.

Summary. The subject of the paper is design of the models and the development of methods for investigations of biomechanical phenomena femur bone. A model designed by us, allowing the analysis of deformations and displacements by the method of finite elements is presented. Also the displacements of femur bone at modeling the complex system of force were realized on realy bone by speckle photography.

Zusammenfassung. Die vorliegende Arbeit stellt sich zur Aufgabe, Modelle und die Entwicklung der Untersuchungsmethoden von biomechanischen Erscheinungen im Hüftgelenk darzustellen. Es wurden Modelle entwickelt, die es möglich machen, die Verformungen und Verlagerungen mittels Methode der finiten Elemente durchzuführen. Außerdem wurden auch die Verlagerungen eines realen Schenkelknochens bei Modellierarbeiten eines Belastungszustandes mit Hilfe der Fleckphotographie untersucht.

1. WPROWADZENIE

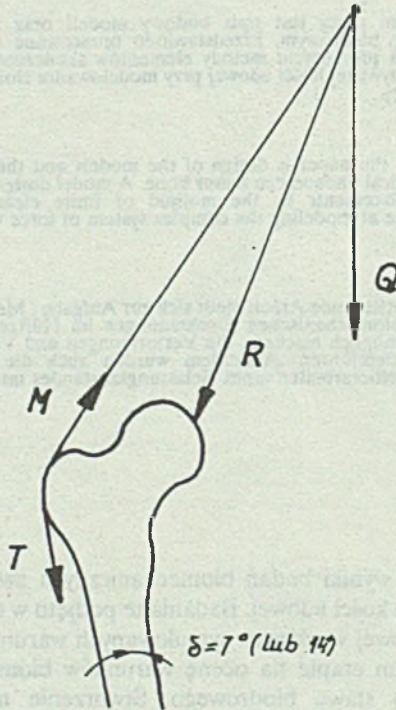
Przedmiotem pracy są wyniki badań biomechanicznych związane z budową modeli numerycznego i fizycznego kości udowej. Badania te podjęto w celu uzyskania możliwości oceny wytrzymałości kości udowej w różnych symulowanych warunkach obciążeń. Uzyskane modele pozwolą w dalszym etapie na ocenę warunków biomechanicznych stosowania wszczepów (implantatów) stawu biodrowego. Stworzenie modelu numerycznego z zastosowaniem metody elementów skończonych umożliwi przebadanie szeregu przypadków stanu kości udowej przy różnych warunkach obciążeń. Zbudowano również model kości udowej umożliwiający analizę przemieszczeń przy zastosowaniu techniki fotografii plamkowej.

2. SIŁY DZIAŁAJĄCE NA STAW BIODROWY

Na podstawie badań Pauwelsa [1, 2] przyjmuje się dzisiaj powszechnie, że w fazie jednostronnego obciążenia kończyny całkowita wartość siły obciążającej staw biodrowy stanowi w przybliżeniu sumę ciężaru ciała oraz siły, z jaką działają na staw mięśnie

okołostawowe. Do określenia stanu odkształceń i przemieszczeń zarówno w modelu fizycznym, jak i numerycznym przyjęto model obciążenia pokazany na rys. 1. W badaniach eksperymentalnych i obliczeniach numerycznych rozważano tylko dwa przypadki:

- kość udowa obciążona jest wypadkową siłą stawu biodrowego R i siłą M mięśni odwodziela; pominięto wpływ pasma biodrowo-piszczelowego,
- oprócz wypadkowych sił R i M uwzględniono dodatkowo wpływ siły napięcia pasma biodrowo-piszczelowego T.

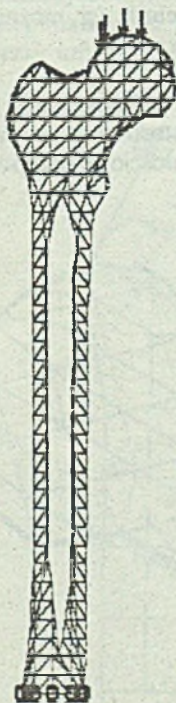


Rys.1. Obciążenie kości udowej - model Pauwelsa. R - wypadkowa siła stawu biodrowego, M - siła mięśni odwodziela, T - siła napięcia pasma biodrowo - piszczelowego, Q - ciężar człowieka
 Fig.1. Strain to the femur - Pauwels model (standing on one foot). R - resultant force of the iliac joint, M - muscular force of the abductor, T - force of tension to iliotibial band, Q - human weight

3. BADANIA DOŚWIADCZALNE

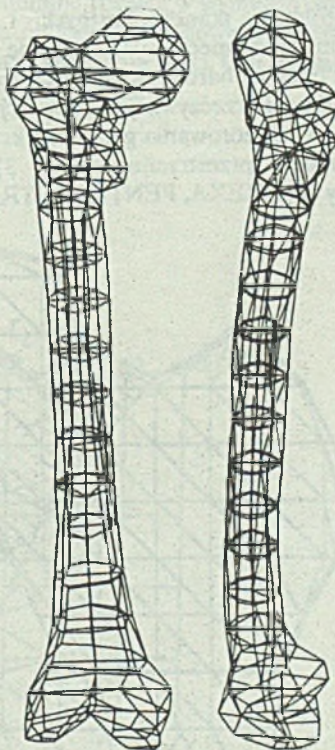
Doświadczalną analizę przemieszczeń bliższego końca kości udowej przeprowadzono stosując metodę fotografii plamkowej [6], [10]. Badania przeprowadzono na rzeczywistej kości przy zastosowaniu specjalnego układu obciążającego umożliwiającego realizację obciążeń wg schematu Pauwelsa (rozd. 2). Badania przeprowadzono na stanowisku holograficznym z zastosowaniem jako źródła światła lasera helowo-neonowego HNA.

4. OBLICZENIA NUMERYCZNE



Rys.2. Płaski model obliczeniowy kości udowej z podziałem na trójkątne elementy

Fig.2. Computational model for the femur with the division into triangular elements



Rys.3. Schemat obliczeniowy kości udowej z podziałem na trójkątne elementy

Fig.3. Computational diagram for the femur with the division into spatial finite elements

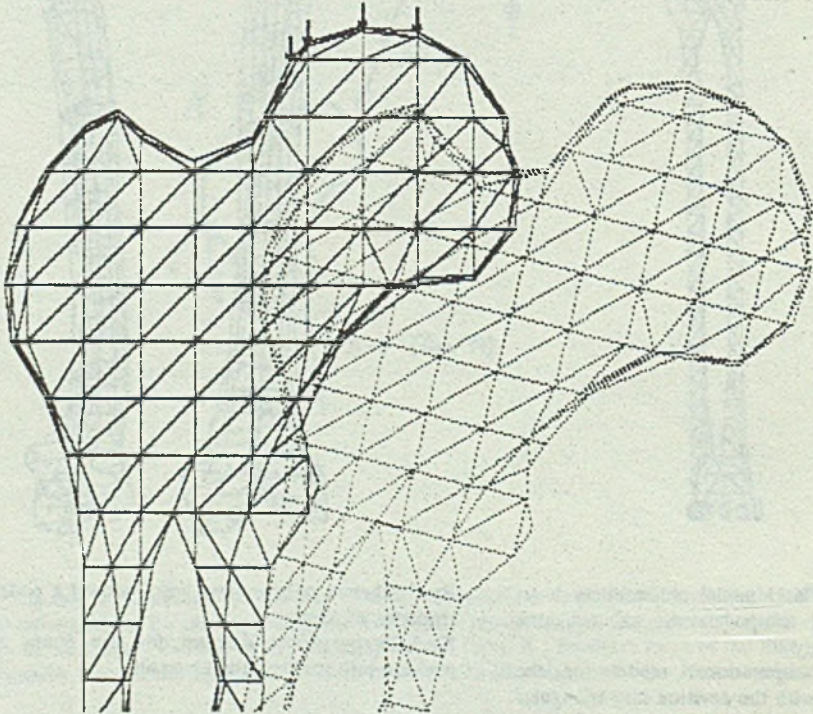
Analizę odkształceń i stanu naprężeń kości udowej przeprowadzono z zastosowaniem MES [8, 9]. Dla kości udowej opracowano dwa modele obliczeniowe: płaski i przestrzenny. W modelu płaskim pokazanym na rys. 2 kość udową dyskretyzowano trójkątnymi elementami skończonymi w płaszczyźnie przechodzącej przez główkę kości udowej. Zamodelowanie grubości poszczególnych tkanek kości, jak i przyjęcie dla nich własności materiałowych E i ν , dla obydwóch modeli obliczeniowych płaskiego i przestrzennego nastęrczało wiele trudności.

Dane materiałowe zostały zaczerpnięte z literatury Carter i inni [1, 2, 3]:

- tkanka kostna zbita: $E = 5000 \text{ MPa}$ i $\nu = 0,32 - 0,35$,
 - tkanka kostna gąbczasta (w wielu pracach duże rozbieżności) $E = 6 \text{ MPa}$ i $\nu = 0,47$.
- Znacznie trudniejsze jest określenie grubości tkanki kostnej zbitiej, w modelu przestrzennym (rys. 3) szczególnie w górnej części kości udowej. W wielu pracach [1, 2, 4 i 5] przyjmuje się, że obciążenia są przenoszone proporcjonalnie do objętości poszczególnych tkanek kostnych i to jest zgodne z podstawowymi prawami konstytutywnymi mechaniki. Zbliżenie się do fizycznego modelu kości można osiągnąć poprzez budowę bardzo dokładnych modeli przestrzennych, tzn.:

- uwzględnienie rzeczywistych proporcji poszczególnych tkanek,
- wiernego odwzorowania geometrii kształtu kości udowej na trójkątne elementy.

W modelu przestrzennym (rys. 3) do dyskretyzacji zastosowano trójwymiarowe elementy typu HEXA, PENTA i TETRA. Obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzono



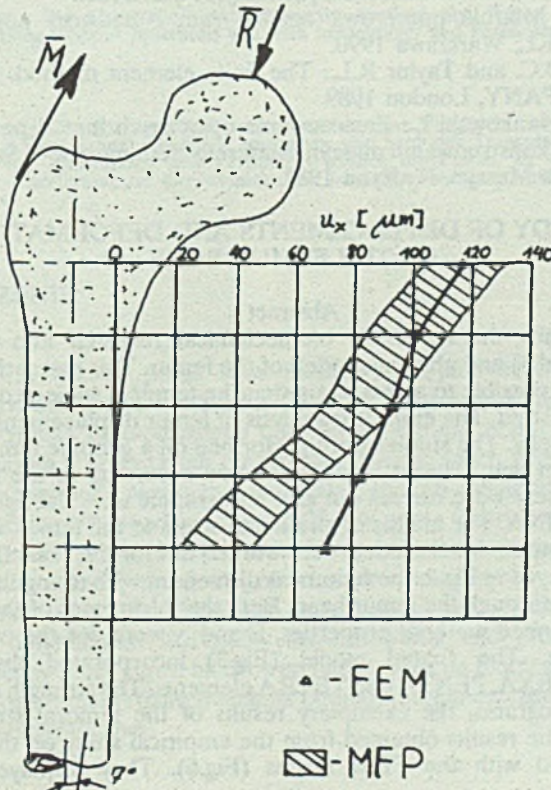
Rys.4. Przemieszczenie kości udowej, schemat obciążenia wg Pauwelsa

Fig.4. Displacement of femur, load diagram acc. to Pauwels

własnymi programami [8], a przykładowe wyniki wyznaczonych odkształceń kości udowej przedstawiono na rys. 4.

5. ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że wpływ siły napięcia mięśni pasma biodrowo-piszczelowego na zredukowane obciążenia kości udowej jest znaczny. Wpływ drugiego parametru, a mianowicie kąta nachylenia kości udowej w stosunku do pionu (7 i 14) powoduje zmniejszenie przemieszczeń kości w granicach o 20 - 35%. Porównanie wyników z MES do wyników z eksperymentu dało zadowalające rezultaty (rys. 5). Opracowanie modelu kości 3-D całkowicie eliminuje różnice w wynikach obu metod. Modele numeryczne (MES) umożliwiają oprócz obliczenia składowych przemieszczeń dowolnego punktu kości, również wyznaczenie stanu wyężenia kości. Opracowany model geometryczny umożliwia realizację wielu przypadków obciążeń.



Rys.5. Wykres przemieszczeń kości udowej - bez uwzględnienia siły napięcia pasma biodrowo-piszczelowego

Fig.5. Plot of femur displacements - tensile force of the iliotibial band not included

LITERATURA

- [1] Carter D. R., Fyhrie D. P., Whaken R., Orr T. E., Schurman D. J. and Rapperport D.J.: Control of chondro-ossaeous skeletal biology by mechanical energy.
- [2] Fyhrie D. P. and Carter D. R.: Femoral head apparent density distribution predicted from bone stresses. *J. Biomechanics* Vol. 23, No 1, pp. 1-10, 1990.
- [3] Cook S. D., Anderson R. C., Weinstein A. M., Skinner H. B., Haubold A. and Yapp R.: An evaluation of Lti carbon and porous titanium hip prostheses. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam 1984 - Printed in The Netherlands.
- [4] Wismans M.: A three-dimensional mathematical model of the human knee joint. Technische Hogeschool Eindhoven, 1980.
- [5] Appel H. und Kramer F.: Biomechanik und Kraftfahrzeugsicherheit. Technische Universität Berlin. Berlin 1988.
- [6] Będziński R.: Budowa modeli fizycznych elementów kręgosłupa lędźwiowego. *Prace Inst.Konstr.i Ekspł.Maszyn Pol.Wrocł.*, Seria Monografie nr 13, Wrocław 1989.
- [7] Rusiński E., Czmochoński J., Dzielendziak St., Smolnicki T., Iwankiewicz M., Zabłocki W.: Rozwój podstaw modeli - człowieka w bezpieczeństwie biernym. Raport nr 015/91, Inst.Konstr.i Ekspł.Maszyn Polit.Wrocł.
- [8] Rusiński E.: Mikrokomputerowa analiza ram i nadwozi pojazdów i maszyn roboczych. WKŁ, Warszawa 1990.
- [9] Zienkiewicz O.C. and Taylor R.L.: The finite element method. McGRAW-HILL BOOK COMPANY, London 1989.
- [10] Będziński R., Jankowski L.: Zastosowanie optycznych metod pomiaru naprężeń i odkształceń w konstruowaniu maszyn. Materiały Seminaryjne V Szkoły Metodologii Konstruowania Maszyn, Rydzyna 1985.

A STUDY OF DISPLACEMENTS AND DEFORMATION OF THE FEMUR BONE

Abstract

This paper submits the results of biomechanical research into the structure of numerical (Figs 2 and 3) and physical models of the femur. This research was undertaken in order to render it possible to assess strain that the femur is subjected to under various load conditions simulated. The empirical analysis of femur displacements was carried out by spot (?) photography. The studies were performed on a genuine femur and employed a special load system that allowed load distribution according to the Pauwels diagram (Fig.1). The experiment were carried out at a holographic unit, the light source being a helium-neon laser, HNA. The analysis of strain and stress to the femur was accomplished using FEM. Two computational models were worked out for the bone: flat and spatial. In the flat model, displayed in Fig.2, the femur was discretised with triangular finite elements in the plane running through the femur head. Both the thicknesses of the particular bone tissues and their assumed material properties, E and ν were, for the two models, taken from the literature. The spatial model (Fig.3) incorporated discretisation with three-dimensional HEXA, PENTA and TETRA elements. The strength calculations were done under own programs, the exemplary results of the femoral strains determined displayed in Fig.4. The results obtained from the empirical study on the genuine femur were then compared with the FEM results (Fig.6). They displayed a satisfactory conformity.

Recenzent: Prof. zw. Adam Morecki

Wpłynęło do redakcji w styczniu 1992