

Alicja BALIN, Jerzy MYALSKI, Józef ŚLEZIONA

Wydział Inżynierii Materiałowej, Metalurgii, Transportu i Zarządzania
Politechnika Śląska

Jerzy TOBOREK

Oddział Urazowo-Ortopedyczny
Szpital Miejski Nr 2 w Siemianowicach Śląskich

BADANIA SYMULACYJNE MODELU SZTUCZNEGO STAWU BIODROWEGO

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodę badań symulacyjnych sztucznego stawu biodrowego. Badania przeprowadzono na modelach fizycznych, w warunkach zmęczenia niskocyklicznego, dla dwóch technik zamocowania endoprotezy w kości udowej.

SIMULATION INVESTIGATIONS OF THE ARTIFICIAL HIP JOINT MODEL

Summary. The method of simulation investigations of the artificial hip joint has been presented in this paper. Investigations of two physical models of the hip prostheses fixing in the bone, at low cycle fatigue conditions has been carried out.

СИМУЛЯЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛЯ ИСКУССТВЕННОГО БЕДРОВОГО СУСТАВА

Резюме. В работе представлено метод симуляционных исследований искусственного бедрового сустава. исследования проведены на физических моделях, в условиях малоциклового усталости, для двух техник закрепления эндопротезы в бедровой кости.

1. WPROWADZENIE

Alloplastyka całkowita stawu biodrowego zyskuje w świecie coraz szersze zastosowanie. Ponieważ nawet najdoskonalszy sztuczny staw nie jest w stanie zastąpić stawu naturalnego, tak pod względem struktury, jak i właściwości

biomechanicznych oraz fizjologicznych funkcji ruchowo-podpórczych [1].

Więc rzetelna ocena stosowanych metod endoprotezoplastyki wymaga obszernych obserwacji bliskich i odległych wyników wykonywanych zabiegów. Szczególnie trudne jest zebranie późnych wyników leczenia. Z tych względów w ocenie danej techniki operacyjnej istotne jest uwzględnienie, obok wyników badań klinicznych, również wyników badań symulacyjnych sztucznego stawu, przeprowadzanych na modelach, w celu określenia trwałości mocowania endoprotezy w kości.

Badania stawu biodrowego po alloplastyce całkowitej powinny obejmować symulację procesu narastania przemieszczeń trzpienia endoprotezy w kości pod wpływem obciążeń odwzorowujących rzeczywiste oddziaływania podczas ruchu człowieka. Symulację obciążeń, z dużym prawdopodobieństwem odtworzenia ich przebiegu, można realizować poprzez badania w warunkach zmęczenia niskocyklicznego.

2. BADANIA MODELOWE

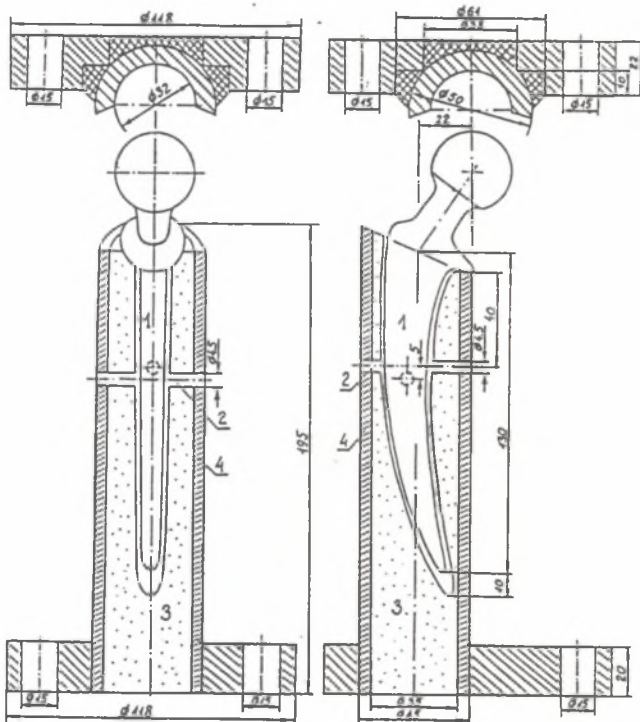
Staw biodrowy po cementowej alloplastyce całkowitej stanowi warstwowo układ komponentów: stop metalowy - cement - warstwa graniczna - kość gąbczasta - kość korowa, różniących się zarówno własnościami fizyko-mechanicznymi, jak i biologicznymi, zmieniającymi się z upływem czasu.

Podjęte w pracy badania symulacyjne na modelach uwzględniały rolę czynników mechanicznych, z pominięciem wpływu procesów fizjologicznych, a w szczególności procesu tworzenia warstwy granicznej pomiędzy cementem i kością gąbczastą. Przyjęto, że własności warstwy granicznej zbliżone są do własności kości gąbczastej i założono istnienie następujących warstw: metal - cement - kość gąbczasta - kość korowa.

Spełnienie kryterium podobieństwa dla modelu i obiektu zapewniono, budując model sztucznego stawu biodrowego w skali 1:1 (rys.1) z oryginalną endoprotezą (endoproteza Wellera typu II o wymiarach: średnica głowy 32 mm, średnia szyjka, długość trzpienia 130 mm), przy zastosowaniu cementu kostnego CMW1 oraz utrzymaniu wszystkich parametrów techniki kotwiczenia endoprotezy w kości, jak przy zabiegach operacyjnych. Kość zamodelowano za pomocą dwóch rodzajów materiałów, zaprojektowanych według zasad inżynierii materiałów kompozytowych [2]. Kość korową stanowiła rurka o wymiarach zbliżonych do kości rzeczywistej, wykonana z żywicy zbrojonej włóknami

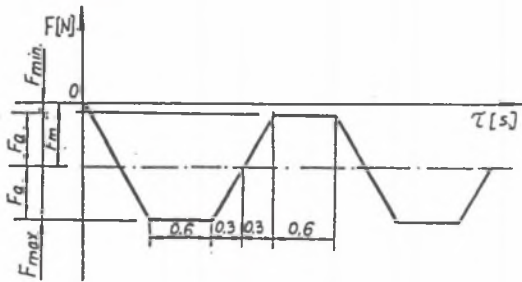
szklanymi. Kość gąbczastą przygotowano z granulowanego styropianu w osnowie żywicy. Własności fizyko-mechaniczne materiałów modelowych były zbliżone do dolnej granicy zakresu rzeczywistych własności kości [3-5].

Na podstawie badań niskocyklicznych wyznaczono trwałość - liczbę cykli do zniszczenia N_f modelowego połączenia endoproteza-cement-kość dla dwóch technik zamocowania endoprotezy w kości - dotychczas stosowanej oraz nowej, stabilno-odciążeniowej, polegającej na dodatkowym wzmocnieniu kotwiczenia mechanicznego trzpienia za pomocą czterech czopów z cementu kostnego, umieszczonych w przestrzennie usytuowanych otworach w kości [6].



Rys.1. Model sztucznego stawu biodrowego do badań niskocyklicznych:
1-endoproteza, 2-cement kostny, 3-kość gąbczasta, 4-kość korowa

Fig.1. Model of the artificial hip joint for the low cycle fatigue investigations: 1-hip joint prostheses, 2-bone cement, 3-cancellous bone, 4-cortical bone



Rys.2. Trapezowy cykl obciążeń

Fig.2. Trapezoidal cycle of load

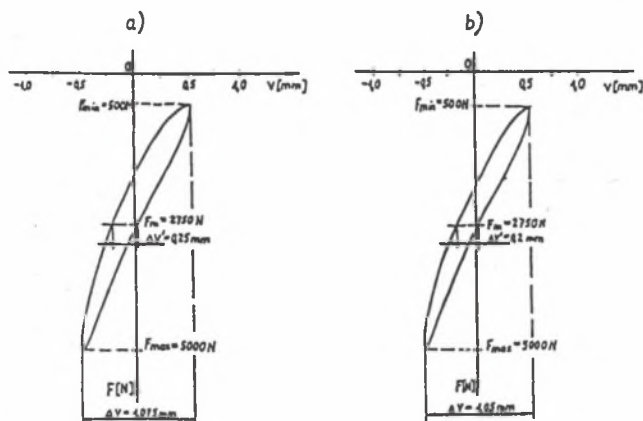
Badania prowadzono na maszynie serwohydraulicznej MTS-810, przy sterowaniu obciążeniem, utrzymując stałą amplitudę siły. Przebieg zmian obciążenia w cyklu miał charakter trapezowy o parametrach podanych na rys.2. Badania realizowano dla różnych wartości maksymalnej siły ściskającej: $F_{\max} = 1000 \text{ N}$, 2000 N , 3000 N , 4000 N i 5000 N . Ze względów technicznych założono minimalną siłę ściskającą równą 100 N dla $F_{\max} < 3000 \text{ N}$ oraz 500 N dla $F_{\max} > 4000 \text{ N}$ [7].

3. WYNIKI BADAŃ

Wyznaczona w wyniku badań niskocyklicznych, przy obciążeniu $F_{\max} = 5000 \text{ N}$, liczba cykli do niszczenia N_f połączenia endoproteza-cement-kość wynosiła odpowiednio: $N_f = 880$ cykli dla klasycznego modelu oraz $N_f = 49580$ cykli dla modelu stabilno-odciążeniowego. Dodatkowe wzmocnienie kotwiczenia mechanicznego za pomocą czterech czopów z cementu kostnego, usytuowanych w obszarze występowania maksymalnych oddziaływań na trzpień endoprotezy [8], powoduje zatem zwiększenie trwałości niskocyklicznej modelu sztucznego stawu biodrowego ponad 50-krotnie. Wynik ten oraz obserwacje procesu niszczenia modeli dowodzą, że zastosowany nowy sposób kotwiczenia endoprotezy w kości udowej zapewnia bardziej równomierny rozkład sił działających na sztuczny staw, odciążając znacznie obszar podparcia podsztyjkowego kołnierza oraz utwierdzenia trzpienia w kości gąbczastej.

Podczas obciążania zmęczeniowego modelu stabilno-odciążeniowego obser-

wowane i rejestrowane przemieszczenia względne endoprotezy były mniejsze, niż w przypadku modelu klasycznego (rys.3). Świadczy to o tym, że czopy ograniczają w znacznym stopniu przemieszczenia trzpienia endoprotezy w kości, a więc stabilizują ją ruchowo.



Rys. 3. Przykładowe wykresy uzyskane w badaniach niskocyklicznych modelu sztucznego stawu biodrowego dla $N = 300$ cykli:

- a) model klasyczny,
- b) model stabilno-odciążeniowy

Fig. 3. Examplement diagrams obtained by the low cycle fatigue investigations of the artificial hip joint model at $N = 300$ cycles:

- a) conventional model,
- b) stabilizing-unloading model

4. PODSUMOWANIE

Modelowe badania niskocykliczne umożliwiają, na podstawie otrzymanych wyników porównawczą ocenę technik kotwiczenia trzpienia endoprotezy stawu biodrowego w kości udowej, a w szczególności:

- jakościową ocenę rozkładu obciążeń na powierzchniach nośnych trzpienia endoprotezy,
- ilościową ocenę stabilności ruchowej trzpienia endoprotezy,
- ilościową ocenę trwałości połączenia endoproteza-cement-kość.

LITERATURA

- [1] Szulc W., Kreczko P.: Wskazania i przeciwwskazania do totalnej endoprotezoplastyki stawu biodrowego. Pam. XXVII Zj. Nauk. PTO i Tr. Warszawa, 1988, s. 23-30.
- [2] Hyla I.: Wybrane zagadnienia z inżynierii materiałów kompozytowych. PWN, Warszawa 1978.
- [3] Donlshi H., Tatsumi M., Kawagui A.: Biomechanical studies on fixations of artificial hip joint acetabular sochet by means of 2D-FEM. Biological and Biomechanical Performance of Biomaterial. Ed. Christet P, A. Meunier A. J.C.Lee, Elsevier, Amsterdam 1986, s. 513-518.
- [4] Larry L., Hench R.: Bioceramics: From Concept to Clinic. J. Am. Ceram. Soc. 74(7), 1991, s. 1487-1510.
- [5] Mears D. C.: Metals in medicine and surgery. International Metals Reviews, June 1977, Rev. 218, s. 119-155.
- [6] Toborek J.: Stabilno-odciążeniowa metoda cementowego kotwiczenia endoprotez stawu biodrowego. Chir. Narz. Ruchu Ortop. Pol. (w druku).
- [7] Balin A., Toborek J.: Zastosowanie metody badań niskocyklicznych do oceny trwałości cementowej endoprotezoplastyki stawu biodrowego. Inżynieria Materiałowa nr 6/1992, SIGMA, Warszawa 1992.
- [8] Semlitsch M., Panic B.: Bruchssichere Verankerungsschafte Kunstlicher Huftgelenke. Technische Rundschau Sulzer 3/1983, s. 28-34.

Recenzent: Prof. Krzysztof Kędzior

Wpłynęło do Redakcji dnia 3. 11. 1992.

Abstract

The method of simulation investigations of the artificial hip joint has been presented in this work. Investigations of the physical models (Fig.1) at low cycle fatigue conditions (Fig.2) of the hip prostheses in the bone has been carried out. Two methods of fixing of the hip prostheses have been taken into consideration.

It has been shown, that the stabilizing-unloading method of fixing increases the durability of the artificial hip joint at the low cycle fatigue process more than 50 times in comparison with the conventional method. The stabilizing-unloading method reduces the displacement of the hip joint prostheses in the bone (Fig.3).