

- [1] Nanotechnologies for the Life Sciences Vol. 9 Tissue, Cell and Organ Engineering, Edited by C.S.S.R. Kumar, 2006, WILEY-VCH, ISBN: 3-527-31389-3
- [2] X. Wanga, I.C. Uma, D. Fangb, A. Okamoto, B.S. Hsiao, Formation of water-resistant hyaluronic acid nanofibers by blowing-assisted electro-spinning and non-toxic post treatments, *Polymer*, 46, (2005), pp. 4853–4867
- [3] E.K. Brenner, J.D. Schiffman, E.A. Thompson, L.J. Toth, C.L. Schauer, Electrospinning of hyaluronic acid nanofibers from aqueous ammonium solutions, *Carbohydrate Polymers*, 87, (2012), pp. 926–929
- [4] L. Junxing, H. Aihua, C.C. Han, D. Fang, B.S. Hsiao, B. Chu, Electrospinning of Hyaluronic Acid (HA) and HA/Gelatin Blends, *Macromol. Rapid Commun.*, 2006, 27, pp. 114–120

- [5] K. Kyu-Oh, A. Yaeko, K. Wei, K. Byoung-Suhk, K. Ick-Soo, Cells Attachment Property of PVA Hydrogel Nanofibers Incorporating Hyaluronic Acid for Tissue Engineering, *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 2, 2011, pp. 353-360
- [6] L. Yang, M. Guiping, F. Dawei, X. Juan, Z. Hongwen, N. Jun, Effects of solution properties and electric field on the electrospinning of hyaluronic acid, *Carbohydrate Polymers*, Vol.83, Issue 2, 2011, pp. 1011–1015
- [7] R.L. Fischer, M.G. McCoy, S.A. Grant, Electrospinning collagen and hyaluronic acid nanofiber meshes, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 23, 2012, pp. 1645–1654

IZOLOWANE ZŁAMANIE TRZPIENIA ENDOPROTEZY STAWU BIODROWEGO – OPIS DWÓCH PRZYPADKÓW

ŻANETA ANNA MIERZEJEWSKA*, ZBIGNIEW OKSIUTA

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA,
UL. WIEJSKA 45C, 15-351 BIAŁYSTOK, POLSKA

* E-MAIL: A.MIERZEJEWSKA@DOKTORANCI.PB.EDU.PL

Streszczenie

Staw biodrowy zbudowany jest z panewki biodrowej, anatomicznie uformowanej z kości miednicy oraz głowy kości udowej. Oba te elementy pokryte są chrząstką i otoczone torebką stawową, wypełnioną płynem synowialnym, którego zadaniem jest odżywianie chrząstki oraz amortyzowanie sił działających na staw. Jakikolwiek zmiany w tym układzie mogą prowadzić do uszkodzenia i deformacji stawu, co skutkuje utratą funkcjonalności oraz bólem. Terapią, która przywraca pacjentowi możliwość bezbolesnego funkcjonowania jest endoprotezoplastyka, polegająca na chirurgicznym wycięciu zmienionych chorobowo powierzchni stawowych i zastąpieniu ich sztucznymi elementami. Jednakże, jak każda chirurgiczna interwencja, endoprotezoplastyka niesie ze sobą ryzyko powikłań. Jednym z nich jest izolowane złamanie trzpienia stawu biodrowego – trzpień ulega złamaniu w kanale szpikowym przy czym tkanki otaczające implant nie zostają uszkodzone.

W pracy przedstawione i porównane zostały dwa przypadki izolowanego złamania trzpienia endoprotezy stawu biodrowego, rozpoznane ok. 3 lata po wszczęciu implantów. Celem pracy było zbadanie cech i mikrostruktury reimplantowanych trzpieni, zdefiniowanie relacji pomiędzy strukturą a wielkością ziaren i zidentyfikowanie ognisk pęknięcia. W tym celu zbadane zostały mikrostruktura, wielkość ziaren, skład chemiczny oraz twardość obu trzpieni.

ISOLATED FRACTURE OF THE HIP STEM PROSTHESIS - REPORT OF TWO CASES

ŻANETA ANNA MIERZEJEWSKA*, ZBIGNIEW OKSIUTA

BIAŁYSTOK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,
45C WIEJSKA STREET, 15-351 BIAŁYSTOK, POLAND

* E-MAIL: A.MIERZEJEWSKA@DOKTORANCI.PB.EDU.PL

Abstract

The hip joint is composed of acetabular, anatomical surface of pelvis and the femoral head. Both of these elements are covered with cartilage and enclosed in a capsule, filled with synovium, which aim is to nourish the cartilage and depreciate forces acting on the hip joint. Any lesions in this system can lead to damage and deformation of the joint, which results in loss of function and pain. The treatment that restores the patient's ability to functioning is the total hip replacement, which consists of surgical excision of the damaged joint surface and implanted in place of artificial elements. However, like any surgical intervention, this procedure carried the risk of complications. One of them is isolated stem fracture, which consisting of the stem break inside the medullary canal without damaging surrounding tissue.

The work presents and compares two cases of isolated fracture of hip stems, which were recognized three years after the operation. The aim of the study was to investigate the properties and microstructure of reimplanted stems, made of austenitic, to define the relationship between the structure and the size of the grains and to identify outbreaks of cracking. Microstructure, grain size, chemical composition and hardness of both stems have been investigated.

Badania mikroskopowe ujawniły defekty materiału. Obserwacje przełomu za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) ujawniły obecność prążków zmęczeniowych, co wskazuje na zmęczeniowy charakter przełomu. Liniowy pomiar twardości ujawnił znaczną niejednorodność materiału.

Uzyskane wyniki stanowią podstawę do dalszych badań tego zjawiska.

Słowa kluczowe: endoprotezoplastyka, złamanie izolowane, powikłania po całkowitej artroplastyce, reimplantacja

[Inżynieria Biomateriałów, 128-129, (2014), 28-31]

Wprowadzenie

Endoprotezoplastyka stawu biodrowego jest jedną z najbardziej udanych technik operacyjnych w chirurgii ortopedycznej. Jest to popularna metoda stosowana w celu przywrócenia normalnego funkcjonowania stawu biodrowego, uszkodzonego przez złamania lub choroby [1]. Niestety, proteza stawu biodrowego nie jest ostatecznym rozwiązaniem problemów zdrowotnych. Podczas eksploatacji, implanty chirurgiczne są wystawione na agresywne środowisko korozyjne, zużycie i obciążenia. Ten szeroki zakres zmiennych powoduje wiele różnych mechanizmów uszkodzeń [1].

Złamanie trzpienia stawu biodrowego stanowi trudne w leczeniu powikłanie. Częstość występowania tej komplikacji zależy od wielu czynników: zastosowanego przez chirurga sprzętu operacyjnego, materiału, z którego wykonany został implant, masy ciała pacjenta i populacji [2,3]. Złamania izolowane były często odnotowywane w przypadku protez wytwarzanych w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Wynikało to z niskich właściwości wytrzymałościowych stosowanych wówczas materiałów [4,5]. Najczęściej trzpienie pękały w wyniku zmęczenia materiału, spowodowanego niekorzystnymi warunkami biomechanicznymi, obłuzowaniem w kanale szpikowym lub nieprawidłową geometrią [2].

Zastosowanie materiałów o wysokiej wytrzymałości, a także intensywne prace nad konstrukcją implantów spowodowały zmniejszenie częstotliwości występowania tej komplikacji, w związku z tym złamania izolowane trzpienia endoprotezy stawu biodrowego stały się rzadkim powikłaniem [6-10].

Materiały i metody

Trzpienie wykonane były z austenitycznej stali nierdzewnej REX 734. Złamania zdiagnozowane zostały po około trzech latach od implantacji. Dla porównania składów chemicznych obu trzpieni z normą ASTM F1586 wykonano iskrową spektroskopię elektronową (Thermo ARL Quantis, Switzerland). Szczegółowe badanie mikrostruktury, po odpowiednim przygotowaniu próbek, przeprowadzone zostało za pomocą mikroskopu optycznego (OM) Nikon Eclipse LV1000. Powierzchnię przełomu zbadano przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) Hitachi S-3000N, wyposażonego w analizator spektroskopowy (Energy Dispersive Spectroscopy EDS). Badania twardości wykonano za pomocą uniwersalnego wgnębnika Vickersa z obciążeniem 5 kg.

Microscopic examination revealed defects in material. A breakthrough observation, carried out by scanning electron microscopy (SEM) revealed the presence of fatigue striations, which clearly indicated the nature of the fatigue fracture. Linear hardness measurements revealed significant heterogeneity of the material.

The results obtained in this work will be used for further research on this topic.

Keywords: endoprosthesoplasty, isolated stem fracture, complications of total hip arthroplasty, reimplantation

[Engineering of Biomaterials, 128-129, (2014), 28-31]

Introduction

Primary hip arthroplasty has become one of the most successful operation techniques in orthopedic surgery, which is popular strategy used for restore the normal function of the hip joint damaged by fracture or disease [1]. Unfortunately, the hip prosthesis is not the ultimate solution to health problems. During service life, surgical implants are exposed to an aggressive environment in terms of corrosion, wear and loading. This wide range of variables has resulted in a wide range of failure mechanisms [1].

Fracture of the femoral stem constitutes a dramatic long-term complication of total hip surgery. The incidence of this complication varies with many factors, including the device used, the material from which the prosthesis was made, the surgeon, patient body mass index and population [2,3]. Relatively high rates of fracture of the femoral stem of total hip arthroplasties were seen with early designs manufactured in the 1960s and 1970s because of the material's low fatigue strength and the presence of metallurgical defects [4,5]. The stems generally failed via a fatigue mechanism because of unfavorable biomechanics such as varus positioning, loosening, loss of proximal support, geometry of the stem or surface damage of the implant [2].

Fractures have been reported in a variety of prosthetic designs and materials. The use of high-strength materials including forged cobalt chrome, titanium alloy and high-nitrogen stainless steel, as well as further development of stem design and stem geometry, have led to a reduction in the incidence of this complication, and the occurrence of fracture with modern femoral stems is a now a very rare event [6-10].

Materials and methods

The stems were forged using high nitrogen stainless steel. The failure occurred after only 3 years service. To compare the chemical composition of fractured stems with ASTM F1586 standard spark emission spectroscopy (Thermo ARL Quantis, Switzerland) was used. Detailed microscopic examinations of the microstructure after etching polished samples were carried out by a Nikon Eclipse LV1000 optical microscope (OM). The fracture surfaces of stems were examined by means of a Hitachi S-3000N Scanning Electron Microscopy (SEM) equipped with Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) detector. Hardness measurements were performed using Vickers universal indenter with load of 5 kg.

Skład chemiczny obu trzpieni przedstawiono w TABELI 1. Dla porównania zamieszczono również skład chemiczny austenitycznej stali nierdzewnej REX 734, zgodny z normą ISO 5832-9. Wyniki przeprowadzonych analiz wskazały, że materiał zastosowany do wytworzenia obu implantów był zgodny z wytyczonymi normami, jednakże zauważalne są niewielkie różnice w składzie chemicznym obu próbek.

TABELA 1.
TABLE 1.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni	N	Nb
Rex 734 (ISO 5832-9)	0.08 ^a	0.75 ^a	2-4.25	0.025 ^a	0.01 ^a	19.5-22	2-3	0.25 ^a	9-11	0.25-0.5	0.25-0.8
Trzpień I Stem I	0.037	0.39	4.54	0.021	0.017	21.36	2.17	0.19	9.83	0.36	0.26
Trzpień II Stem II	0.036	0.27	4.1	0.002	0.015	21.14	2.33	0.036	7.05	-	0.39

^a – zawartość maksymalna / maximum content

Badania mikroskopowe ujawniły znaczną ilość defektów materiałowych w obu trzpieniach. Wyróżnić można tutaj pory i pustki, zlokalizowane na obrzeżach próbek, a także nieciągłości i rozwarstwienia materiału, prawdopodobnie wynikające z przeciążenia materiału. Nie wykryto natomiast obecności ani też żadnych zmian spowodowanych korozją. Obserwacje prowadzone za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego potwierdziły, że złamanie implantu było wynikiem zmęczenia materiału. W obu próbkach zauważono świadczące o takim charakterze zniszczenia prążki zmęczeniowe. Duża powierzchnia obszaru pęknięcia zmęczeniowego w porównaniu z obszarem pęknięcia doraźnego w obu przypadkach, wskazuje na działanie niewielkich obciążeń i niewielkiej prędkości propagacji pęknięć. Twardość obu trzpieni zbadana została powyżej i poniżej przelomu, w bezpośredniej odległości. Dla pierwszego trzpienia średnia twardość badanego materiału wyniosła ~ 335 HV/5 i była zgodna z normą ASTM. Jednakże zauważono, że twardość materiału jest niejednorodna – powyżej przelomu twardość wynosiła 342±2 HV/5, natomiast poniżej – 325±5 HV/5. Twardość drugiego trzpienia wyniosła 342 HV/5±6 powyżej złamania i 340 HV/5±4 poniżej. Ta niejednorodność twardości mogła być spowodowana nieprawidłowo przeprowadzonym procesem obróbki cieplno – plastycznej.

Wnioski

Celem pracy było przeanalizowanie i opisanie dwóch przypadków złamania cementowych trzpieni endoprotezy stawu biodrowego, wykonanych ze stali austenitycznej REX 734. Na krótki czas eksploatacji implantów mogło mieć wpływ wiele czynników, m.in.: niezgodny z normami skład chemiczny, nieprawidłowo przeprowadzona obróbka cieplno – plastyczna skutkująca niejednorodną twardością materiału, obecność wtrąceń niemetalicznych i wad materiałowych.

Badania mikrostruktury, zarówno poniżej jak i powyżej przelomu ujawniły strukturę homogeniczną, jednorodną z małymi ziarnami, typowymi dla materiałów kutech. Badania twardości wykazały znaczną niejednorodność materiału zastosowanego do wytworzenia obu implantów. Nie odnotowano zmian spowodowanych obecnością korozji, co może wskazywać na równomierne rozłożenie głównych składników stopowych, takich jak chrom i nikiel.

Results and discussions

The chemical composition of tested stems is shown in TABLE 1. For comparison the chemical composition of the high nitrogen austenitic stainless steel according to ISO 5832-9 standard (REX 734 grade) is also presented. The results of chemical analysis of the tested steel revealed, that the material of stem, in general, fulfils the ISO requirements, however, there are some differences in chemical composition of the tested stems in comparison with the standard.

Microscopic examination revealed numerous defects in both stems. Among them are pores and emptiness, located on the outskirts of the tested samples and a plurality of recesses and delamination of the material, probably due to the overloading of a fatigue character. There were no changes caused by corrosion. Observations of the material by using scanning electron microscopy (SEM), clearly proved that the destruction was caused by material fatigue, however in the second stem the pattern wave of propagation of the fracture was not visible because the fracture surfaces were polished as a result of walking after the fracture had occurred. Large surface of the fatigue crack zone area indicated for small stresses and small crack propagation velocities. For the first stem an average hardness of tested material is ~ 335 HV/5 and fulfils ASTM requirements. However, an interesting effect was observed – hardness of stem material above the breakthrough was 342±2 HV/5 and below – 325±5 HV/5. For the second stem hardness of stem material was measured at 342 HV/5±6 above the fracture and 340 HV/5±4 below the fracture. This may be caused by uneven distribution of forces during plastic forming and shaping the implant or underlying reasons for this heterogeneity can be improperly carried out heat treatment.

Conclusions

The main goal of this work was to analyse and describe a failure mechanism of cemented hip stem made of austenitic stainless steel, REX 734 grade. There are some factors such as: chemical composition, higher hardness measured in the inner part of the stem and secondary cracks initiated at the non – metallic inclusions, that can explain early fracture of the hip endoprosthesis after 3 years of implantation.

The microstructure in remote areas and close to the fracture surfaces were homogeneous and possessed a relatively small, refined grain size, typical of forged components. There were no changes caused by intergranular corrosion or pitting, which may indicate an even distribution of the major alloy components such as chromium and nickel.

Zaobserwowano natomiast obecność porów oraz węglików, zlokalizowanych zarówno w bezpośredniej jak i dalszej odległości od przełomu, a także rozwarstwienia i nieciągłości materiału. Obserwacje powierzchni przełomu, za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej, wyraźnie pokazuje, że zniszczenie materiału nastąpiło w wyniku zmęczenia. W tym przypadku, połączenie prążków zmęczeniowych i brak wad metalurgicznych trzpienia wskazuje, że pęknięcie spowodowane było przeciążeniem trzpienia.

Podziękowania

Praca zrealizowana została przy wsparciu Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej, projekt numer MB/WM/14/2014.

Metallurgical defects such as porosity and gross carbides inclusions close to the fracture sites and in remote areas were observed. The results of the hardness revealed heterogeneity of the material. Pictures taken by means of a scanning electron microscope revealed the presence of pores and a plurality of recesses and delamination of the material resulting from the overload of an endurance. Observations of fracture surface, using scanning electron microscopy, clearly proves that the destruction of materials occurred as a result of fatigue. In this case, the combination of the fatigue striation and the absence of any defects of the stem indicate that the fracture may be due simply to overloading of the stem.

Acknowledgments

This scientific work was supported by the Faculty of Mechanical Engineering, Bialystok University of Technology, project No MB/WM/14/2014.

Piśmiennictwo

- [1] Nunley R. M., Ruh E. L., Zhang Q., Della Valle C. J., Engh C. A., Berend M. E., Parvizi J., Clohisy J. C., Barrack R. L.: Do Patients Return To Work After Hip Arthroplasty Surgery, *J Arthroplasty*, 2011 Sep, 26(6 suppl):92-98.e1-3
- [2] Kamachi M. U., Sridhar T.M., Eliaz N., Baldev R. A.: Failures Of Stainless Steel Orthopaedic Devices: Causes And Remedies, *Corros Rev*, 2003, 21:231-67.
- [3] Martens M., Aernoudt E., De Meester P., Ducheyne P., Muller J.C., Delangh R., Kestelijn P.: Factors In The Mechanical Failure Of The Femoral Component In Total Hip Prosthesis, *Acta Orthop Scandinavica* 1974, 45(5):693-710
- [4] Kotela A., Ambroziak P., Deszczyński M.J.: Złamanie Trzpienia Endoprotezy Stawu Biodrowego – Opis Przypadku, *Ostry Dyżur*, 2012, Tom 5, Numer 1-2
- [5] Carlsson A. S., Gentz C. F., Stenport J.: Fracture Of The Femoral Prosthesis In Total Hip Replacement According To Charnley, *Acta Orthop Scand* 1977, 48(6):650-5

References

- [6] Wróblewski B.M.: Fractured Stem In Total Hip Replacement – A Clinical Review Of 120 Cases, *Acta Orthop Scand* 1982 Apr, 53(2):279-84
- [7] Akinola B., Mahmud T., Deroeck N.: Fracture Of An Exeter Stem-A Case Report, *The Internet Journal Of Orthopedic Surgery* 2009, Vol.16 Number 1
- [8] Jarvi K., Kerry R.M.: Case Report Segmental Stem Fracture Of A Cemented Femoral Prosthesis, *The Journal Of Arthroplasty*, 2007, Vol. 22 No. 4 Jun 1 2007
- [9] Roffey P.: Case Study: Failure Of A High Nitrogen Stainless Steel Femoral Stem, *Engineering Failure Analysis* 2012 Mar; Vol. 20
- [10] Sen R.K., Mootha A.K., Saini R., Kumar V.: Segmental Fracture Of A Cemented Femoral Stem - A Case Report And Review Of Literature, *The Internet Journal Of Orthopedic Surgery* 2009; Vol. 13 No. 1