

Z literatury wiadomo, że implantacja jonów wapnia na stopach tytanu zwiększa jego odporność korozyjną [6] i w niewielkim stopniu zwiększa mikrotwierdność [2]. Badania biologiczne wskazują, że adhezja i proliferacja komórek na próbkach implantowanych jonami jest większa niż na materiale wyjściowym [7]. Nasze badania są zgodne z tymi obserwacjami. Biorąc pod uwagę poprawę właściwości mechanicznych i biologicznych stopu tytanu z warstwą dyfuzyjną typu $Ti_3P+(Ti-Ni)$ można spodziewać się lepszej biointegracji implantów z tą warstwą implantowaną jonami wapnia niż implantów ze stopu tytanu $Ti6Al4V$.

Podziękowania

Badania były finansowane z projektu ERA NET MNT/90/2006.

It is known from literature data that Ca ions implantation on titanium alloys significantly increases material corrosion resistance [6] and slightly microhardness [2]. Biological experiments suggest that cell adhesion and proliferation on samples ion implanted are higher than on bulk material [7]. Data of our studies are in agreement with these observations. Taking into consideration both improvement mechanical and biological properties of titanium alloy by the presence of the diffusion layer $Ti_3P+(Ti-Ni)$ type it can be expected better integration of implants with Ca ion implanted surface layer $Ti_3P+(Ti-Ni)$ type than implants made of titanium alloy.

Acknowledgments

This study was financed by project: ERA-NET MNT/90/2006.

Piśmiennictwo

- [1] Krischok S., Blank C., Engel M., Gutt R., Ecke G. et.al. Surf. Sci. 2007; 601: 3856-3860.
 [2] Ikeyama M. et.al. Surf. Coat. Tech. 128-129; 2000: 400-403.
 [3] Czarnowska E., Zajączkowska A., Godlewski M.M., Mróz W., Sobczak J., Wierzchoń T. J. Nanosci. Nanotech. 2008 (w druku).
 [4] Zajączkowska A. Praca doktorska. „Kształtowanie właściwości stopu tytanu $Ti6Al4V$ obróbką hybrydową w aspekcie zastosowań na biomateriały kostne”, 2008r.

References

- [5] Czarnowska E., Zajączkowska A., Sowińska A., Cukrowska B., Godlewski M.M., Wierzchoń T. Engin. Biomat. 2005; 46: 1-3.
 [6] Krupa D. et.al. Vacuum 63; 2001: 715-719.
 [7] Braceras I., Onate J.I., Goikoetxea L. et.al. Surf. Coat. Tech. 2005; 196: 321-326.

PARAMETRYCZNA OCENA POROWATYCH POKRYĆ IMPLANTÓW DOKOSTNYCH – PRZYKŁADOWE WYNIKI POMIARÓW REPREZENTATYWNYCH TRZPIENI ENDOPROTEZ STAWU BIODROWEGO

RYSZARD UKLEJEWSKI¹, MARIUSZ WINIECKI^{1*}, TOMASZ CZAPSKI¹, PIOTR ROGALA², JAN KOCHAŃSKI¹

¹ UNIWERSYTET KAZIMIERZA WIELKIEGO, INSTYTUT TECHNIKI, ZAKŁAD PODSTAW BIOINŻYNIERII MEDYCZNEJ, BYDGOSZCZ, POLSKA

² UNIWERSYTET MEDYCZNY IM. KAROLA MARCINKOWSKIEGO, KLINIKA CHIRURGII KRĘGOSŁUPA, ORTOPEDII ONKOLOGICZNEJ I TRAUMATOLOGII, POZNAŃ, POLSKA

* E-MAIL: WINIECKI@UKW.EDU.PL

[Inżynieria Biomateriałów, 77-80, (2008), 101-103]

Długotrwała wytrzymałość implantacji do układu kostnego porowatych materiałów biozastępczych zależy od: 1) efektywności adaptacyjnego wrastania tkanki kostnej do przestrzeni porów porowatego pokrycia implantu ortopedycznego oraz 2) zachowania prawidłowych relacji naprężeniowo-odkształceniowych w tkance kostnej wokół implantu. Wybrane zagadnienia dotyczące tej problematyki były przedmiotem projektu badawczego MNIŚW nr 4 T07C 056 29 pt.: „Badanie i projektowanie cech konstrukcyjnych połączeń porowatych implantów ortopedycznych z kośćmi”, jak również rozprawy doktorskiej [8]. Problem powstawania niezawodnego połączenia kości z implantem i jego dłu-

PARAMETRIC EVALUATION OF IMPLANT POROUS COATINGS – THE RESULTS FROM REPRESENTATIVE EXAMPLES OF FEMORAL STEMS MEASUREMENTS

RYSZARD UKLEJEWSKI¹, MARIUSZ WINIECKI^{1*}, TOMASZ CZAPSKI¹, PIOTR ROGALA², JAN KOCHAŃSKI¹

¹ KAZIMIERZ WIELKI UNIVERSITY, INSTITUTE OF TECHNOLOGY, DEPARTMENT OF FUNDAMENTALS OF MEDICAL BIOENGINEERING, BYDGOSZCZ, POLAND,

² POZNAŃ UNIVERSITY OF MEDICAL SCIENCES, DEPARTMENT OF SPINE SURGERY, ONCOLOGIC ORTHOPAEDICS AND TRAUMATOLOGY, POZNAŃ, POLAND

* E-MAIL: WINIECKI@UKW.EDU.PL

[Engineering of Biomaterials, 77-80, (2008), 101-103]

The long-term vitality and biomechanical strength of the porous biosubstitute materials implantation inserted into bone structure depends on: 1) the effectiveness of the adaptive bone tissue ingrowth into pores of the porous coating on orthopedic implant and 2) the proper stress-strain relations in bone tissue around the implant. Some problems concerning this were the subject of the research project no 4 T07C 056 29: “Experimental investigation and design of the constructional properties of bone-porous implant fixation”, including the PhD dissertation [8]. In frames of the research, the problem of successful integration and long-term biomechanical vitality of bone-implant interface was discussed

gotrwałej biomechanicznej trwałości analizowany był na podstawie współczesnego dwufazowego porosprężystego modelu biomechanicznego kości [2,3] oraz mechaniki materiałów porowatych, zastosowanej do porowatego pokrycia implantu. Problem ten, zdefiniowany jako problem strukturalno-biomechanicznej zgodności w połączeniu kość-implant, referowano poprzednio w [6,7]. W pracach [1,4,5] zaproponowano zestaw parametrów porodostępności opisujących cechy mikrogeometrii porowatych pokryć implantów ortopedycznych istotnych dla adaptacyjnego wrastania tkanki kostnej.

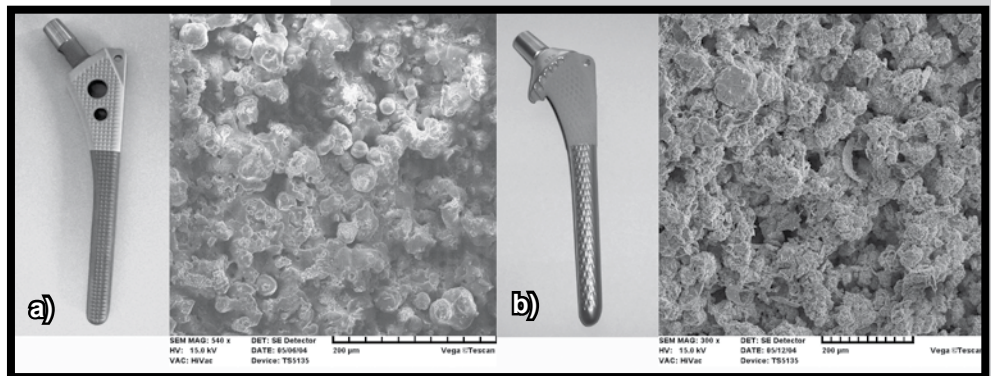
W niniejszej pracy zaprezentowano przykładowe wyniki biostrukturalnej oceny porowatych pokryć wybranych implantów ortopedycznych, przeprowadzonej w oparciu o zaproponowane parametry porodostępności dla wrastania tkanki kostnej: efektywną porowatość objętościową $\phi_{V_{ef}}$, reprezentatywną porowatość powierzchniową $\phi_{S_{rep}}$, wskaźnik pojemności przestrzeni porów porowatego pokrycia V_{PM} , efektywną głębokość porów p_{def} , reprezentatywny rozmiar porów $p_{S_{rep}}$, reprezentatywny kąt porodostępności $\Omega_{R_{rep}}$ oraz współczynnik zwiększenia powierzchni adhezyjnej ψ . Pomiarów mikrogeometrycznych właściwości porowatych pokryć implantów dokonano metodą profilometrii stykowej z użyciem profilometru Perthometer S8P firmy Perthen, produkcji niemieckiej wyposażonego w głowicę pomiarową ze znormalizowaną końcówką pomiarową (diamentowe ostrze w kształcie stożka z wierzchołkiem kulistym o kącie wierzchołkowym 90° i promieniu zaokrąglenia $5 \pm 2 \mu\text{m}$). Pomiarzy zrealizowano na reprezentatywnych przykładach trzpieni endoprotez stawu biodrowego przedstawionych na RYS. 1. W przypadku endoprotezy firmy Johnson&Johnson Orthopaedics porowata warstwa została wytworzona metodą natryskiwania plazmowego z granulatu ceramiki hydroksyapatytowej, zaś w przypadku trzpieni endoprotezy firmy Aesculap® – metodą natryskiwania plazmowego ze sproszkowanego tytanu. Na każdym z badanych trzpieni wyznaczono obszary przeznaczone do wykonania pomiarów.

TABELA 1. Średnie wartości parametrów porodostępności porowatych warstw pokrywających trzpienie badanych typów endoprotez.
TABLE 1. Mean values of the poroaccessibility parameters.

Quantity	Stem	Johnson & Johnson Orthopaedics	Aesculap®
$\phi_{V_{ef}}$	[%]	25±2	13±1
V_{PM}	[mm ³ /cm ²]	0.17±0.03	0.62±0.06
p_{def}	[μm]	7±2	47±3
$\phi_{S_{rep}}$	[%]	89±2	59±1
$p_{S_{rep}}$	[μm]	193±33	182±15
$\Omega_{R_{rep}}$	[°]	40±2	45±1
ψ		1.41±0.04	1.51±0.04

on the basis of the modern two-phase poroelastic model of bone tissue [2,3] and the mechanics of porous materials applied to implant porous coating. The problem, stated as the problem of structural-biomechanical compatibility of bone-porous orthopedic implant interface, was previously presented in [6,7]. In papers [1,4,5] authors have proposed the set of poroaccessibility parameters describing the properties of microgeometry of implant porous coatings, which are crucial for adaptive bone tissue ingrowth.

In this paper there is presented an example of the biostructural evaluation of the porous coated orthopaedic implants with use of parameters of poroaccessibility of implant for bone tissue ingrowth: the effective volumetric porosity $\phi_{V_{ef}}$, the index of the porous coating space capacity V_{PM} , the representative surface porosity $\phi_{S_{rep}}$, the representative pore size $p_{S_{rep}}$, the representative angle of the poroaccessibility $\Omega_{R_{rep}}$ and the bone-implant interface adhesive surface enlargement index ψ . The evaluation of microgeometrical properties of implants porous coatings were carried out with contact profile measurement gauge (Perthometer S8P, Perthen, Germany) equipped with standard contact stylus (diamond cone tip with 90 degrees vertical angle and $5 \pm 2 \mu\text{m}$ nose radius) on the representative examples of femoral stems (FIG. 1). The measurements were carried out on



RYS. 1. Trzpienie endoprotez poddane badaniu mikrostruktury porowatych warstw pokrywających wraz z przykładowymi obrazami SEM tych warstw: a) trzpień endoprotezy firmy Johnson & Johnson Orthopaedics, b) trzpień endoprotezy firmy Aesculap®.

FIG. 1. The examined stems and examples of SEM micrographs of their porous coatings: a) Johnson & Johnson Orthopaedics, b) Aesculap®.

the Johnson & Johnson Orthopaedics (Great Britain) stems with HA plasma sprayed porous coating on proximal section and on the Aesculap® (Germany) stems with commercially pure titanium plasma sprayed porous coating. On the stems surface there have been determined regions to carry out the measurement. The measurement was performed in direction parallel to long stem axis on regions of stems surface with no grooves and macrot textures and with little curve radius. Additionally, for qualitative assessment the SEM (Vega 5135, Tescan, Czech Republic) observations of porous coatings fragments have been performed. The mean values of poroaccessibility parameters for porous coatings of examined stems are presented in TABLE 1.

It has been found that the ceramic porous coating (built of bulk and spheroidal partially melted particles and with regions formed of flattened splats with shallow and vast pores with smooth lateral surface – FIG. 1a) and the metallic porous coating (built of rough, shapeless and irregular forms with deep interconnected pores with steep and sharp lateral surface – FIG. 1b) have the following similar values: the representative angle of the poroaccessibility $\Omega_{R_{rep}}$, the index of the enlargement of the adhesive surface ψ and the representative pore size $p_{S_{rep}}$. It has been concluded that the

Były to obszary znajdujące się na górnej i dolnej powierzchni trzpienia o niewielkim promieniu zaokrąglenia. Boczne powierzchnie trzpieni ze względu na dodatkowe makrotekstury nie nadawały się do wykonania pomiarów. Kierunek pomiaru był zgodny z kierunkiem osi głównej trzpienia. Ponadto w celu jakościowej oceny porowatych pokryć implantów wykonano badania mikroskopowe. Zastosowano elektronowy mikroskop skaningowy Vega 5135 firmy Tescan, produkcji czeskiej. Średnie wyniki parametrów porodostępności dla badanych trzpieni przedstawiono w TABELI 1.

Zaobserwowano przede wszystkim, że zarówno ceramiczne (zbudowane ze stopionych cząstek w postaci cząstek sferoidalnych oraz częściowo roztopionych cząstek w postaci tzw. spłaszczonych plaśniń /flattened splats/ nazywanych też plaśnięciami płytkowymi /lamellar splats/; mające płytkie i rozległe pory o łagodnych ścianach bocznych) jak i metaliczne (zbudowane z częściowo stopionych i zakrzepłych cząstek o bardzo ostrych i nieregularnych kształtach; mające głębokie, wzajemnie połączone pory o nieregularnych, ostrych i stromych ścianach bocznych) porowate pokrycia mają zbliżone wartości reprezentatywnych kątów porodostępności Ω_{rep} , wskaźnika zwiększenia powierzchni adhezyjnej ψ oraz średniego reprezentatywnego rozmiaru porów p_{Srep} , co wskazuje na to, że zaproponowane nowe parametry p_{Srep} , Ω_{rep} , ψ , mogą mieć istotne znaczenie dla promowania wrastania tkanki kostnej w przestrzeń porów pokrycia, co w konsekwencji ma kluczowe znaczenie dla pomyślnego zakotwiczenia implantu w kości w przypadku bezcementowej techniki mocowania implantów ortopedycznych.

Ponadto w przypadku ceramicznych porowatych pokryć stwierdzono większą dostępność przestrzeni porów dla przyjęcia tkanki kostnej (wyższe wartości efektywnej porowatości objętościowej ϕ_{vef} i reprezentatywnej porowatości powierzchniowej ϕ_{Srep}). W przypadku metalicznych porowatych pokryć stwierdzono większą pojemność porów (wyższe wartości efektywnej głębokości porów p_{def} przy podobnej oraz wskaźnika pojemności przestrzeni porów porowatego pokrycia V_{PM}).

Przedstawione wyniki pokazują, że strukturalno-osteoindukcyjne właściwości porowatych pokryć można opisać za pomocą zaproponowanych parametrów porodostępności. Istotność następujących parametrów: reprezentatywnego rozmiaru porów p_{Srep} i reprezentatywnego kąta porodostępności Ω_{rep} dla efektywności penetracji płynu śródkostnego w przestrzeń porów porowatego pokrycia implantu dokostnego potwierdza matematyczny opis tego zjawiska przedstawiony w pracy [1]. Ponieważ tkankę kostną wrastającą w przestrzeń porów porowatego pokrycia implantu można traktować jako quasi-płynny ośrodek ciągły, można przyjąć, że proces wrastania tkanki kostnej będzie warunkowany parametrami, które warunkują penetrację płynu śródkostnego do porów porowatego pokrycia.

new parameters p_{Srep} , Ω_{rep} , ψ might be important for promotion of bone tissue ingrowth, which is essential for the proper fixation of the implant in bone. There also can be concluded that the porostructure of a ceramic coating is more open for adaptive bone tissue ingrowth (higher effective volumetric porosity ϕ_{vef} and representative surface porosity ϕ_{Srep}). On the other side the higher value of the effective pores depth pdef of metallic porous coating with similar values of the representative pore size p_{Srep} and the representative angle of the poroaccessibility Ω_{rep} gives bigger capacity of pore space V_{PM} of the considered porous coating. This means that the pore space of metallic porous coating can access more of penetrating bone tissue.

The results demonstrate that the structural-osteoinductive properties of porous coatings can be well described by proposed parameters set. The importance of the following parameters: the representative pore size p_{Srep} and the representative angle of poroaccessibility Ω_{rep} , for the effectiveness of endosseous fluid penetration into pore space of porous coating can be confirmed by the mathematical description of the process presented in [8]. Because of the fact that the bone tissue ingrowing into pore space of porous coating can be treated as a "quasifluid" medium penetrating pores of considered porous material, it may be expected that the ingrowth process of bone tissue will also be influenced by parameters influencing the endosseous fluid penetration.

Piśmiennictwo

References

- [1] Mielniczuk J, Uklejewski R, Winięcki M, Rogala P. The poroparameters for evaluation of structural-osteoinductive and mechanical properties of bone-implant porous coating interface. Part 1. Theoretical background on the basis of the poroelastic model of bone. *J Biomech* 2006;39:Suppl 1:14.
- [2] Rogala P, Uklejewski R, Stryła W. Modern poroelastic biomechanical model of bone tissue. Part I. Biomechanical function of fluids in bone/Part II. Structure of pore space in cortical and trabecular bone. *Chir. Narz. Ruchu Orthop. Pol.* 2002;67 (3):309–316/67 (4):395–403.
- [3] Stryła W, Uklejewski R, Rogala P. Modern two-phase biomechanical-electrophysiological model of bone tissue. Implications for rehabilitation research and practice. *Intern J Rehab Res* 2004;27: Suppl 1:175.
- [4] Uklejewski R, Rogala P, Winięcki M. On the characterization of orthopaedic implants porous coatings with three-dimensional roughness measurement, *Proceedings of the 11th International Conference on Metrology & Properties of Engineering Surfaces* 2007, Huddersfield, UK, 16-20.07.2007, p.241.
- [5] Uklejewski R, Winięcki M, Mielniczuk J, Rogala P, Auguściński A. The poroaccessibility parameters for three-dimensional characterization of orthopaedic implants porous coatings. *Metrology and Measurement Systems. Metrology and Measurement Systems* 2008, Vol. XV, No. 2. p. 215.
- [6] Uklejewski R, Winięcki M, Rogala P, Mielniczuk J, Auguściński A, Stryła W. Structural and biomechanical biocompatibility in bone-porous implant fixation region – on the basis of two-phase poroelastic biomechanical model of bone tissue. *Engineering of Biomaterials*, 2007;69-72:93–95
- [7] Uklejewski R, Winięcki M, Rogala P. On the structural-adaptive compatibility of bone with porous coated implants on the base of the traditional one-phase and the modern two-phase poroelastic biomechanical model of bone tissue. *Engineering of Biomaterials*, 2006;54-55:1–13.
- [8] Winięcki M.: The investigation on the microgeometrical constructional properties of porous endosseous implants and the influence of these properties on the strength of the bone-implant model fixation, (in Polish), PhD Thesis, Poznan University of Technology, Faculty of Working Machines and Transportations, Poznan, 2006.