WPŁYW PARAMETRÓW POWIERZCHNI KOMPOZYTOWYCH MATERIAŁÓW WŁÓKNISTYCH NA ODPOWIEDŹ KOMÓRKOWĄ

E. Stodolak*, B. Czajkowska, T. Mikołajczyk***, M. Błażewicz*, D. Wołowska-Czapnik*****

*Katedra Biomateriałów,
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH Kraków
**Katedra Immunologii, Collegium Medicum
Uniwersytet Jagielloński. Kraków
***Katedra Włókien sztucznych,
Wydział Inżynierii i Marketingu Tekstyliów PŁ, Łódź

Streszczenie

Przedmiotem badań są próbki różniące się parametrami mikrostrukturalnymi; (chropowatość, wielkość i kształt porów) oraz energią powierzchniową. Próbki wytworzono z polimeru, do którego wprowadzano włókna węglowe lub włókna alginianowe. Różnice odpowiedzi komórkowej na powierzchnie polimeru modyfikowanego faza włóknistą dotyczą zarówno przeżywalności komórek (fibroblasty, osteoblasty) jak poziomu wydzielanego przez nie kolagenu. W oparciu wyniki przedstawione w pracy można stwierdzić że zastosowanie włókien do modyfikacji polimeru stanowić może przydatna metodę modyfikowania powierzchni wykorzystywaną w konstrukcji materiałów stosowanych dla sterowanej regeneracji tkanek.
[Inżynieria Biomateriałów, 54-55,(2006),19-23]

Wstęp

Polimerowe materiały implantacyjne są od wielu lat powszechnie stosowane w medycynie. Polimery określane jako biostabilne, stosowane są zarówno jako protezy naczyń nici chirurgiczne, elementy różnego rodzaju endoprotez, jako implanty stosowane w laryngologii stomatologii, kardiochirurgii lub neurologii. Ostatnio w coraz szerszym zakresie do praktyki klinicznej wprowadzane są kompozyty wytwarzane z polimerów łączonych z takimi materiałami jak bioaktywna ceramika, włókna ceramiczne lub węglowe. Kompozyty polimerowo- włókniste są tworzywem stanowiącym w inżynierii biomateriałów alternatywę dla implantów metalicznych. Obecność włókien w osnowie polimerowej pozwala na modyfikacje parametrów mechanicznych polimeru, zarówno w obszarze wytrzymałości, modułu sprężystości jak i pozwala na otrzymanie implantów o biomimetycznej anizotropii właściwości mechanicznych. Rozprowadzenie fazy modyfikującej, w matrycy polimerowej wpływa zarówno na wytrzymałość kompozytu ale również na energię powierzchniową i mikrostrukturę materiału.

Szczególnym typem złożonego materiału kompozytowego są implanty wykorzystywane w technice GTR. Sterowana regeneracja tkanki kostnej (GBR) jest skuteczną techniką leczenia ubytków kości zwłaszcza ubytków kości żuchwy. Zasada metody polega na stworzeniu optymalnych warunków regeneracji tkanki kostnej i stosowana może być również wszędzie tam gdzie niezbędna jest szybka odbudowa tkanki kostnej. Membrany GTR muszą charakteryzować otwartą porowatością, pozwalającą na migracje

THE EFFECTS OF SURFACE PARAMETERS OF FIBROUS COMPOSITE MATERIALS ON CELLULAR RESPONSE

E. Stodolak*, B. Czajkowska, T. Mikołajczyk***, M. Błażewicz*, D. Wołowska-Czapnik*****

*Department of Biomaterials,
Faculty Materials Eng. and Ceramics, AGH-UST, Cracow
**Department of Immunology, Collegium Medicum,
Jagiellonian University, Kraków
***Institute of Man Made Fibers, Faculty of Textile
Engineering and Marketing, Technical University of Lodz

Abstract

The aim of this study was to examine the samples with different surface topography and surface energy. Experimental materials were made of polymer, to which carbon or alginate fibres were introduced. Differences in cellular response to polymer surfaces modified with fibrous phase concern both viability (fibroblasts and osteoblasts) and the level of their collagen production. Based on obtained results it may be concluded that application of fibres for polymer modification may become a useful method of conferring functionality to the surface, suitable for construction of materials applicable in controlled tissue regeneration.
[Engineering of Biomaterials, 54-55,(2006),19-23]

Introduction

Polymer implant materials have been widely applied in medicine within the past several years. Polymers defined as biostable find use as vascular implants, surgical threads and elements of various types of endoprostheses. They are also useful as laryngological, dental, cardiosurgical and neurological implants. Recently, composites made of polymers combined with such materials as bioactive ceramics, ceramic or carbon fibres, are being increasingly used in clinical practises. Fibrous polymer implants become an alternative to metal implants in biomaterials engineering.
The presence of fibres in polymer matrix allows for modification of mechanical parametres of polymer (strength, modulus of elasticity), as well as it enables the formation of implants with biomimetic anisotropy of mechanical properties. The distribution of modifying phase within polymer matrix affects both composite strength and its surface energy, and also the microstructure of the material.
Implants applied in GTR technique are particular types of composite materials. Controlled regeneration of bone tissue (GBR) is an effective technique of healing bone deficits, in particular deficits in submaxilla bone. The principle of the method is based on creation of optimal conditions for regeneration of bone tissue and may be also applied everywhere, where the fast restoration of bone tissue is required. The GTR membranes must be characterised by open porosity allowing for migration of components necessary for appropriate cell functioning, and the presence (in surface layer) of the phase which supports restoration of bone tissue.

Composites made of biostable polymer matrix modified with carbon fibres were the object of this study. The experiments were also carried out on polymer membranes made

składników niezbędnych dla prawidłowego funkcjonowania komórek oraz obecnością w warstwach powierzchniowych fazy, która wspomagać będzie odbudowę tkanki kostnej.

Przedmiotem badań były kompozyty z osnową biostabilnego polimeru, do której wprowadzano fazę modyfikującą w formie włókien węglowych. Obok kompozytów badania dotyczyły membran polimerowych do wytworzenia których użyto kompozytów polimer/rozpuszczalne włókno alginianowe.

Celem pracy była analiza odpowiedzi komórkowej na funkcjonalizaowaną przy pomocy włókien resorbowalnych (rozpuszczalnych) i biostabilnych matrycę polimerową. Materiały w formie membran i kompozytów polimerowo - włóknistych, różniące się mikrostrukturą i energią powierzchniową kontaktowano z dwoma typami komórek w warunkach in vitro.

Materiały i metody

Materiały

Do wytworzenia próbek wykorzystano terpolimer PTFE/PVDV/PP (Aldrich Chemical Co., USA nr katalogowy 45 458-3) o gęstości d=1.6 Rozpuszczalnikiem był aceton (POCh SA Gliwice nr katalogowy 102480111). Włókna węglowe AGH (otrzymane z prekursora PAN, karbonizowane w 1400^{0}C) poddawano fragmentacji do postaci pojedynczych włókien o długości 1,2±0,25 mm. Włókna alginianowe wykonano w Katedrze Włókien Sztucznych, Politechniki Łódzkiej. Roztwór przędzalniczy wykonano z alginianu sodu (Biopolimer,AS Protanal LF 20/60 o przewadze bloków kwasu guluronowego ok. 65%)

W celu otrzymania próbek polimerowych sporządzono roztwór terpolimeru: stosując 5 g PTFE/PVDF/PP na 50 ml acetonu. Naważkę włókien węglowych rozprowadzono w roztworze terpolimeru przy użyciu płuczki ultradźwiękowej. i wylano na szalkę Petriego. Następnie podano swobodnemu odparowaniu przez 24 godziny. W ten sposób otrzymano lity kompozyt; włókno węglowe krótkie/polimer (oznaczony jako CP1). Membrany wykonano w analogiczny sposób dodając do polimeru włókna alginowe (oznaczenie CP2). Sam roztwór polimeru bez faz modyfikujących posłużył do wykonania próbek w postaci folii polimerowych (oznaczenie CP0). Materiały kompozytowe zawierające rozpuszczalny biopolimer w postaci włókien., poddano inkubacji w wodnym roztworze soli fizjologicznej. W wyniku inkubacji otrzymano porowate membrany, w których pory powstały w wyniku rozpuszczenia obecnego w materiale alginianu sodu. Membranę scharakteryzowano z punktu jej przepuszczalności, wyniki przedstawiono na RYS.5. Przepuszczalność badano w doświadczeniu w którym membranę umieszczano na granicy roztworu 0,1M NaCl i wody destylowanej. Mierzono wzrost przewodnictwa wody następujący w wyniku dyfuzji jonów Na+ i Cl- poprzez badaną membranę.

Metody

Mikrostrukturę powierzchni materiałów kompozytowych obserwowano w skaningowym mikroskopie elektronowym JSM - 5400, Joel przy powiększeniu 20 i 50 razy. Na RYS.3 przedstawiono obrazy powierzchni czystej próbki polimerowej oraz kompozytu włókno węglowe / polimer. Na RYS.4 zebrano mikrofotografie powierzchni kompozytów z alginian /polimer oraz utworzonych (przez wypłukiwanie) z nich membran.

Charakterystykę stanu powierzchni badanych materiałów dokonano metodą dynamiczną pomiaru kąta zwilżenia, używając aparatu DSA 10 Kruss (Niemcy). Swobodną energię powierzchniową wyznaczono metodą Owensa-Wend-

of polymer and soluble alginate fibres. The aim of the work was the analysis of cellular response to polimer matrix, functionalized with use of resorbable (soluble) and biostable fibres. Materials in form of membranes and fibre/polymer composites of different microstructures and surface energies, were put in contact with two types of cells under in vitro conditions.

Materials and methods

Terpolymer PTFE/PVDV/PP (Aldrich Chemical Co., USA) with density d=1.6g/cm3 was used for sample manufacturing. Acetone (POCh SA Gliwice) was used as solvent. Carbon fibres were obtained from PAN precursor (Mavilon Hangary), carbonized at 1400^{0}C. Alginate fibres were prepared by Man Made Fibres Institute, Lodz Technical University, Poland. Spinning solution was prepared from sodium alginate (Biopolymer, AS Protanal LF 20/60, with dominating blocs of guluron acid, ~ 65%). The terpolymer solution: 5 g PTFE/PVDF/PP per 50 ml of acetone, was poured onto a Petri platter and was let to free evaporation during 24 hours. This way the samples of polymer foils were obtained (CP0). The weighed portion of defragmented carbon fibres was introduced to terpolymer solution using ultrasonic bath, and after the solvent evaporation the short carbon fibre/polymer composite (CP1) was obtained. Membranes were fabricated in two stages: firstly the short alginate fibre/polymer composite was prepared, and then this composite was subjected to incubation in distilled water, which caused pore formation due to dissolution of sodium alginate present in the material (CP2). The permeability of the membrane was characterised by placing it between the 0,1M NaCl solution and the distilled water. The conductivity increase was measured based on diffusion of Na+ i Cl- ions through the membrane (FIG.5).

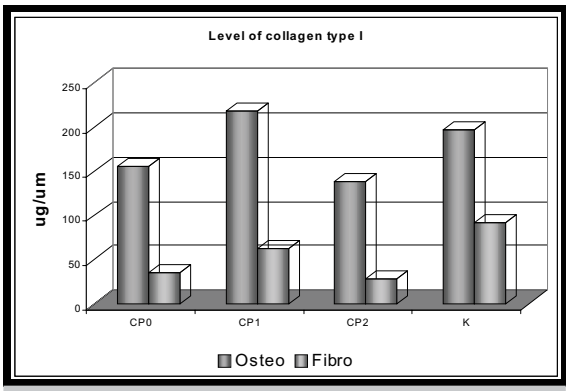
The surface morphology of composite materials was observed using scaning electron microscope Jeol, JSM-5400. FIG.3 show surface images of polymer sample (foil)(CP0), and carbon fibre/polymer composite (CP1). FIG.4 present the photomicrographs of membrane surfaces. The free surface energy was determined using Owens-Wendt method (DSA 10 Kruss). The vapour of measuring liquids consisted of double distilled water UHQ and the di-iodomethane (Aldrich Chemical Co., USA).

Biological examinations were performed on disc-shaped samples of diametre of 21 mm, sterilised on both sides using the UV radiation during 30 min. Human line of hFOB 1.19 osteoblasts and HS-5 fibroblasts were applied in the study. Cell cultures were developed in 12-well culture plates, where the samples were placed in well bottoms and cell suspension in culture liquid was added. Cultures were grown in the incubator with 5% CO_2 / 95% air atmosphere at the temperature of 37^{0}C, during 7 days. Cell viability was determined by modified method, using the metabolism of MTT dye in mitochondria (activity of mitochondrial dehydrogenase). Type 1 collagen concentration for both cell lines (osteoblasts and fibroblasts) was determined using the ELISA test.

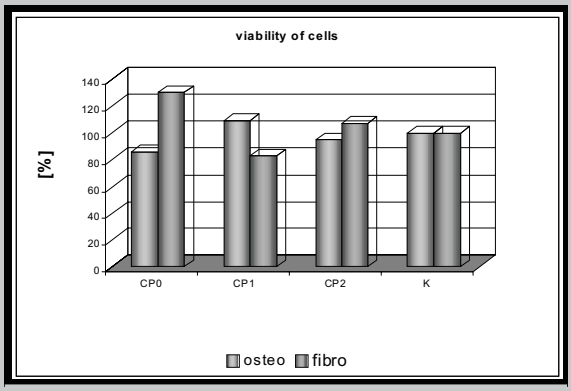
Results and discussion

SEM

The results of microscopic observations indicate differences in topography of the surfaces of all examined samples. The surface of solid polymer sample is smooth, while introduction of short carbon fibres to polymer matrix significantly modifies its surface. The composite sample shows exposed fibres, forming irregular arrays of randomly oriented



RYS. 1. Poziom kolagenu typu I produkowanego przez komórki tkanki łącznej: osteoblasty i fibroblasty na powierzchniach badanych materiałów.
FIG. 1. Level of collage type I produced by MG 63 on the surfach of materiale: CP0-polymer foli, CP1- short carbon fibre/polymer composite, CP2- membranes with short carbon fibre/polymer/ alginate.



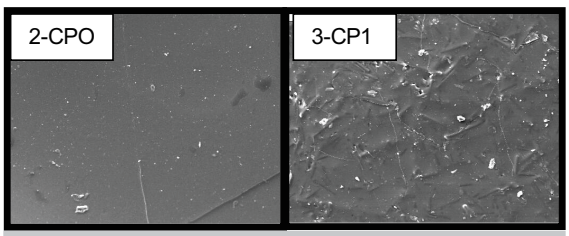
RYS. 2. Przeżywalność komórek tkanki łącznej: osteoblastów i fibroblastów na badanych materiałach.
FIG. 2. Cells viabilityLevel of collage type I produced by MG 63on the surfach of materiale: CP0-polymer foli, CP1- short carbon fibre/polymer composite, CP2-membranes with short carbon fibre/polymer/alginate.

ta. Parą cieczy pomiarowych była woda podwójnie destylowana UHQ i dijodometan (Aldrich Chemical Co., USA, cat. no. 15-84-29).
Badania biologiczne wykonano na próbkach w kształcie krążków o średnicy 21 mm średnicy wyjałowionych obustronnie za pomocą promieniowania UV przez 30 minut. Do badań użyto ludzką linie osteoblastów hFOB 1.19 i ludzką linie fibroblastów HS-5. Hodowle komórkowe poprowadzono w 12 - dołkowych płytkach hodowlanych, w których na dnie umieszczano badane próbki i dodawano zawiesinę komórek w medium hodowlanym. Hodowle przeprowadzano w inkubatorze w atmosferze, 5% CO_2 / 95% powietrze w temperaturze 37°C (fibroblasty) lub 34°C (osteoblasty) przez 7 dni. Żywotność komórek oznaczono zmodyfikowaną metodą wykorzystującą metabolizm barwnika MTT w mitochondraich (aktywność dehydrogenazy mitochondrialnej)- RYS.2. Oznaczenie stężenia kolagenu typu I dla obu typów linii komórkowych: osteoblastycznej i fibroblastycznej oznaczono przy pomocy testu ELISA.

Wyniki i dyskusja

SEM

Wyniki badań mikroskopowych wskazują na różnice w topografii powierzchni wszystkich badanych próbek. Powierzchnia litej próbki polimerowej jest gładka natomiast wprowadzenie do polimeru krótkich włókien w znacznym



RYS. 3. Obraz SEM powierzchni próbek czystego polimeru (CP0) i kompozytu polimerowo-węglowego CP1.
FIG. 3. Surface microphotographs of terpolymer (2-CP0) and of the composite polymer with carbon fibers (3-CP1).

fibres coated with polymer layer. Polymer membranes produced by washing out of alginate fibres have surfaces showing pores of irregular as well as spheroidal shape.

Surface energy

The results indicate that introduction of carbon fibres to polymer affects not only the surface topography, but also the value of surface energy. Higher surface energy value observed in the case of composite samples (carbon fibre/ polymer) as compared to the angle for polymer matrix alone, may be related to changes of chemical composition of polymer introduced to the matrix by carbon fibre surface. On the other hand, the introduction of alginate fibres to polymer matrix as the pore-generating agent does not affect significantly the value of polymer's surface energy (TABLE 1).

The 'in vitro' examination

The biological studies indicate that cell viability (both fibroblasts and osteoblasts), in contact with examined materials is high, and sometime it exceeds the detection level. However, both viability and the level of collagen secretion (type I), is different for different samples. The osteoblasts survivability in contact with composite surface is high (around 130%), whereas the viability of fibroblasts is much lower as compared to pure polymer. Viability of osteoblasts in contacts with the membrane is close to survivability in contact with the surface of pure polymer, while fibroblasts viability is remarkably lower.

As it can be noted from FIG. 1, the modification of poly-

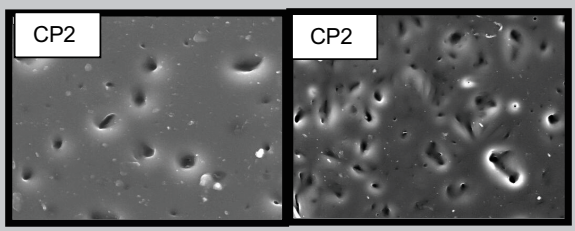


FIG. 4. Obraz SEM powierzchni próbek kompozytu membranowego CP2.
FIG. 4. Surface microphotographs of terpolymer based samples without alginate (membrane).

stopniu modyfikuje powierzchnie. Na powierzchni próbki kompozytowej widoczne są wyeksponowane włókna, które tworzą nieregularny układ przypadkowo zorientowanych włókien pokrytych warstwą polimeru. Membrany polimerowe powstałe w wyniku wypłukania włókien alginowych maja powierzchnie na których widoczne są pory zarówno o kształtach nieregularnych jak i kulistych.

Energia powierzchniowa

Wyniki wskazują, że wprowadzenie do polimeru włókien węglowych wpływa nie tylko na topografie powierzchni ale również modyfikuje stan chemiczny powierzchni. Wyższa wartość energii powierzchniowej, obserwowana w przypadku próbki kompozytowej (polimer/włókno węglowe) w porównaniu z wartością kąta dla osnowy polimerowej związana jest najprawdopodobniej ze zmianami w chemicznej budowie polimeru jakie wprowadza do osnowy powierzchnia włókna węglowego. Pomiędzy osnową polimerowa a powierzchnia włókien węglowych zachodzi reakcja, w której angażowane są zarówno grupy funkcyjne z powierzchni włókien jak i grupy funkcyjne polimeru. Natomiast wprowadzenie do osnowy polimerowej włókien alginianowych jako środka porotwórczego nie wpływa In istotny sposób na wartość energii powierzchniowej polimeru (TABELA 1).

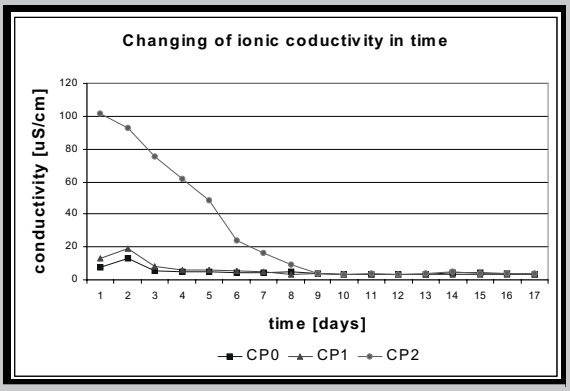
Badania in vitro

Badania biologiczne wskazują, że przeżywalność komórek zarówno fibro jak i osteo w kontakcie z materiałami badanymi jest wysoka a niekiedy przewyższa poziom kontroli. Jednakże, zarówno przeżywalność komórek jak i poziom wydzielanego przez nie kolagenu (typ I) jest różna dla poszczególnych próbek. Przeżywalność osteoblastów w kontakcie z kompozytem jest wysoka (ok. 130%), zaś przeżywalność fibroblastów jest dużo niższa w porównaniu z czystym polimerem. Przeżywalność osteoblastów w kontakcie z membraną jest zbliżona do przeżywalności w kontakcie z powierzchnia czystego polimeru. Natomiast przeżywalność fibroblastów jest wyraźnie niższa. Co podobnie jak w przypadku próbki kompozytowej zdaje się przemawiać za tym, że chropowatość powierzchni wpływa negatywnie na przeżywalności fibroblastów natomiast poprawia stopień przeżywalności osteoblastów.

Jak widać z RYS.2 modyfikacja polimeru wpływa ma poziom kolagenu wydzielanego przez komórki kontaktowane z badanymi materiałami. Poziom kolagenu typu I, wydzielanego przez komórki (fibroblasty, osteoblasty) w kontakcie z badanymi próbkami jest najwyższy dla komórek kontaktowanych z kompozytem włókno węglowe/polimer w porównaniu z pozostałymi próbkami, natomiast najniższy dla komórek kontaktowanych z membraną.

Podsumowanie

Kompozytowe tworzywa, to przede wszystkim materiały otrzymywane w celu poprawy właściwości wytrzymałościowych. Zastosowanie w medycynie kompozytów polimer/włókno prowadzi do otrzymania implantów o z góry zaprojektowanych parametrach mechanicznych. Wyniki przedstawione w artykule wskazują na nowe możliwości w zakresie funkcjonalizowania materiałów dla celów medycznych, jakie stwarzają kompozyty włókniste. Wprowadzenie włókien do matrycy polimerowej prowadzi do zmian parametrów powierzchni materiału, istotnych z punku widzenia reakcji komórek na sztuczne tworzywo. Zastosowanie włókien do konstrukcji implantów z osnową polimerową modyfikuje topografie powierzchni oraz wpływa na wielkość energii powierzchniowej a tym samym decyduje o odpowiedzi komórek na tworzywa kompozytowe.



RYS. 5. Zestawienie zmian przewodnictwa jonowego dla próbek kompozytowych inkubowanych 37°C/ 14 dni / H_2O.
FIG. 5. Curves of ionic conductivity for incubated samples (37°C degree / 14 days).

Próbka Sample's name	Kąt zwilż ania Contact angle	Energia powierzch -niowa Surface energy
Polymer **CP0**	99,7±2,5	20,31±1,62
Polymer-carbon fibers **CP1**	87,2±2,5	24,00±0,67
Polymer- alginate fibers (membrane) C**P2**	93,8±2,42	20,28±0,61

TABELA 1. Wyniki pomiarów kąta zwilżania.
TABLE 1. Results of the contacts angle measurements for the samples before and after modification.

mer affects the level of collagen released due to contact of cells with the examined materials. The collagen type I level, released by cells (osteoblasts and fibroblasts) in contact with the examined samples, is the highest for cells having contact with carbon fibre/polymer composite, as compared to other samples, whereas it is the lowest for cells having contact with the membrane material only.

Summary

Composite materials are being manufactured predominantly in order to improve their mechanical properties. The application of fibre/polymer composites in medicine opens the possibility of producing implants with designed mechanical parametres. Results of this study point out new possibilities which can be acquired by medicinal application materials in terms of functionality, presented by the abilities of fibre composites. Introduction of fibres to polymer matrix leads to variation of surface parametres of the material, which are important from the point of view of cell reaction to polymers. The surfaces, the topographies of which have been modified by carbon fibre, beneficially affect the viability of osteoblasts being in contact with them, while this phenomenon can not be observed on porous surfaces. In the case of fibroblasts, each type of modification leading to increase in surface roughness, causes the decrease of their survivability. The application of fibres for design and manufacturing of implants based on polymer matrix modifies the surface topography and affects the value of surface energy, thus determines the response of cells to composite materials.

Piśmiennictwo

[1] M. Kikuchi, Y. Koyama, T. Yamada, Y. Imamura, T. Okada, N. Shirahama, Development of guided bone regeneration membrane composed of ß-tricalcium phosphate and poly (L-lactide-co-glycolide-co-?-caprolactone) composites, Biomaterials Volume: 25, Issue: 28, December, 2004, pp. 5979
[2] K. Fujihara, M. Kotaki, S. Ramakrishna, Guided bone regeneration membrane made of polycaprolactone/calcium carbonate composite nano-fibers Biomaterials Volume: 26, Issue: 19, July, 2005, pp. 4139-4147
[3] Zhang, Kai; Wu, Xiao Yu,, Temperature and pH-responsive polymeric composite membranes for controlled delivery of proteins and peptides Biomaterials Volume: 25, Issue: 22, October, 2004, pp. 5281-5291
[4] S. Gogolewski, L. Pineda, Michael Büsing, Bone regeneration in segmental defects with resorbable polymeric membranes: IV. Does the polymer chemical composition affect the healing process? Biomaterials Volume: 21, Issue: 24, December 15, 2000, pp. 2513-2520 Aspects of Artificial Joint Implantation in Lower Limb, Journal of Theoretical And Applied Mechanics, 3, 37, 1997, 455-479.

References

[5] Ye, Sang Ho; Watanabe, Junji; Takai, Madoka; Iwasaki, Yasuhiko; Ishihara, Kazuhiko, Design of functional hollow fiber membranes modified with phospholipid polymers for application in total hemopurification system, Biomaterials Volume: 26, Issue: 24, August, 2005, pp. 5032-5041.
[6] Krasteva, Natalia; Seifert, Barbara; Albrecht, Wolfgang; Weigel, Thomas; Schossig, Michael; et. al., Influence of polymer membrane porosity on C3A hepatoblastoma cell adhesive interaction and function, Biomaterials Volume: 25, Issue: 13, June, 2004, pp. 2467-2476.
[7] T. Mikołajczyk, J. Domagała, Water-solube alginate fibers for medical applications, Fibers and textiles in Eastern Europe, June-September, 2001, pp. 20-23.
[8] , M.R. Bet, G. Goissis, S.Vargas, H.S.Selistre-de-Araujo, Cell adhesion and cytotoxicity studies over polyanionic collagen surfaces with variable negative charge and wettability Biomaterials Volume: 24, Issue: 1, January, 2003, pp. 131-137.
[9] F. Rupp, L. Scheideler, D. Rehbein, D. Axmann, J. Geis-Gerstorfer, Roughness induced dynamic changes of wettability of acid etched titanium implant modifications Biomaterials Volume: 25, Issue: 7-8, March - April, 2004, pp. 1429-1438.

KONSTRUKCJA WKŁADKI PROTEZY STOPY Z MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH

Jan Chłopek*, Artur Przała*, Artur Bogucki**

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Katedra Biomateriałów,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
**Polskie Towarzystwo Ortotyki i Protetyki Narządu Ruchu, Prezes PTO i Pr.

Streszczenie

Celem pracy było wykonanie wkładek protezy stopy z materiałów kompozytowych o kontrolowanych właściwościach na podstawie wyników badań właściwości mechanicznych próbek kompozytowych. Użyto kompozytów o osnowie z żywicy epoksydowej modyfikowanych tkaniną węglową oraz hybrydową węglowo - aramidową.

Badania wykazały, że kompozyty zawierające tkaninę hybrydową charakteryzują się lepszymi właściwościami mechanicznymi w porównaniu do kompozytów z włóknami węglowymi, które są kruche i wcześniej ulegają zniszczeniu. Protezy wykonane z kompozytów modyfikowanych tkaniną hybrydową węglowo - aramidową powinny bezpiecznie spełniać swoje funkcje biomechaniczne, nie narażając pacjenta na ryzyko ich uszkodzenia podczas codziennej aktywności.

***Słowa kluczowe**: proteza stopy, kompozyty, włókna węglowe, tkanina hybrydowa*
[Inżynieria Biomateriałów, 54-55,(2006),23-26]

Wprowadzenie

Amputacja jest poważnym zabiegiem chirurgicznym, który w wielu wypadkach przynosi ulgę w bólu, cierpieniu i chorobie, a często ratuje życie. Głównym powodem amputacji kończyny dolnej są choroby naczyń obwodowych oraz cukrzyca.

CONSTRUCTION OF FOOT PROSTHESIS INSERT MADE OF COMPOSITE MATERIALS

Jan Chłopek*, Artur Przała*, Artur Bogucki**

*AGH University of Science and Technology, Faculty of Materials Science and Ceramics, Department of Biomaterials
**Polish Society for Prosthetics and Orthotics, President of National Committee

Abstract

The aim of this work was to prepare prosthetic inserts made of composite materials with controlled properties, based on results of examination of mechanical properties of composite samples. Composites with epoxy resin matrix modified with carbon fabric, as well as hybrid carbon-aramid fabric, have been used in this study.

The experiments proved that composites containing hybrid fabric have better mechanical properties than composites containing only carbon fibres, which are brittle and subjected to premature damage. Prostheses made of composites modified with hybrid carbon-aramid fabric should safely fulfil their mechanical functions, without exposing patients to risk of damage during every day's activity.

***Keywords**: foot prosthesis, composites, carbon fibres, hybrid fabric*
[Engineering of Biomaterials, 54-55,(2006),23-26]

Introductions

Amputation is a serious surgical procedure, which in many cases relieves the pain, suffering and ailment, and very often saves the life. Major reasons for lower limb amputations are diseases of peripheral vessels and the diabetes.

For most people, particularly the young ones, the loss of limb is a tremendous drama, affecting strongly their psyche. For this reason, it is important to prepare the appropri-