

WCZESNY ODCZYN TKANKOWY PO IMPLANTACJI CERAMIKI NISKOPOROWATEJ O MODYFIKOWANEJ POWIERZCHNI. BADANIA DOŚWIADCZALNE

J. STANISZEWSKA-KUŚ*, B. ZBOROMIRSKA-WNUKIEWICZ**,
R. LEWANDOWSKI*, L. SOLSKI*, J. WNUKIEWICZ*, B. ŻYWIKA*

*AKADEMIA MEDYCZNA WE WROCŁAWIU

**INSTYTUT ELEKTROTECHNIKI ODDZIAŁ TECHNOLOGII

I MATERIAŁOZNAWSTWA ELEKTROTECHNICZNEGO WE WROCŁAWIU

Streszczenie

Ocenę biogodności materiałów bioceramicznych przeprowadza się między innymi na podstawie reakcji ogólnoustrojowej i miejscowej, po implantacji w tkanki zwierząt doświadczalnych.

Celem badań jest wykazanie, że struktura fizyczna powierzchni oraz rodzaj technologii otrzymywania biomateriałów może mieć znaczenie dla określenia odczynowości tkankowej.

Badania wykonano na szczurach wszczepiając im domięśniowo trzy rodzaje ceramiki: ceramikę litą, ceramikę - litą silanowaną, ceramikę porowatą. Sekcje zwierząt przeprowadzono 7, 30, 90 dni po operacji.

Na podstawie badań patomorfologicznych przeprowadzonych w okresie wczesnym tj. do 3 miesięcy po implantacji można stwierdzić, że ceramika silanowana o modyfikowanej powierzchni i określonym, celowo otrzymywanym potencjale elektrokinetycznym zeta, wywołuje minimalny miejscowy odczyn tkankowy. Nieco bardziej nasilony odczyn tkankowy obserwowano wokół ceramiki litej. Najsilniejszą reakcję tkankową manifestującą się obfitą i długotrwałą fazą wysiękową stwierdzono wokół ceramiki porowatej.

Słowa kluczowe: biomateriały ceramiczne: lite, lite silanowane, porowate, odczyn tkankowy, badania doświadczalne.

Wprowadzenie

Podstawowym zagadnieniem zastosowania materiałów bioceramicznych jako implantów jest określenie ich biogodności. Ocenę biogodności przeprowadza się na podstawie reakcji ogólnoustrojowej i miejscowej po implantacji w tkanki. Często syntetyczne materiały przeznaczone do implantacji, pozytywnie ocenione w badaniach wstępnych in vitro, po wszczepieniu do żywego organizmu wywołują nadmierny długotrwały proces zapalny, który obniża ich biogodność [1-7].

Celem badań jest wykazanie, że struktura fizyczna powierzchni, oraz rodzaj technologii otrzymywania biomateriałów, może mieć znaczenie dla określenia odczynowości tkankowej.

EARLY TISSUE REACTION AFTER IMPLANTATION OF SURFACE-MODIFIED CERAMICS. EXPERIMENTAL STUDY

J. STANISZEWSKA-KUŚ*, B. ZBOROMIRSKA-WNUKIEWICZ**,
R. LEWANDOWSKI*, L. SOLSKI*, J. WNUKIEWICZ*, B. ŻYWIKA*

*MEDICAL ACADEMY IN WROCLAW

**ELECTROTECHNICAL INSTITUTE, TECHNOLOGICAL UNIT AND
ELECTROTECHNICAL DEPARTMENT OF WROCLAW TECHNICAL
UNIVERSITY

Abstract

One of the methods of evaluating the biocompatibility of ceramic materials is based on analysing local and general reactions of the organism after implantation into the tissues of experimental animals.

The main target of this study was to demonstrate that physical structure of the surface and technology of biomaterials may influence the tissue reactions.

The study made on rats, to the muscles of which three types of ceramics were implanted: solid ceramics, silanated solid ceramics and porous ceramics.

Animals were sacrificed after 7, 30, 90 days from the implantation.

On the basis of pathomorphological studies in the early period (3 months after implantation) we stated that solid ceramics, with the modified surface and certain electrokinetic potential zeta, evoked minimal local tissue reaction. A slightly more intensive tissue reaction was observed around the non-modified solid ceramics. The most intensive tissue reaction manifested by an abundant and long-lasting exudative phase was observed around the porous ceramics.

Key words: Ceramic biomaterials: solid, solid silanated, porous, tissue reaction, experimental study.

Introduction

The main issue in using bioceramic materials as implants is to properly determine their biocompatibility. The evaluation of biocompatibility is conducted on the basis of local and general reactions of the organism after the implantation into the tissue. Very often the synthetic materials designed for implants, although positively evaluated "in vitro", after being implanted into the living organism, evoke excessive long-term inflammatory process which reduces its biocompatibility [1-7].

The general target of this study was to demonstrate that physical structure of the surface and technology of biomaterials may influence the tissue reactions.

Metody badań

Badanie miejscowych odczynów tkanek miękkich po implantacji przeprowadzono na 30 szczurach, wsoonej hodowli, szczepu Wistar, w wieku około 4-6 miesięcy i wadze ok. 150-200 g.

Materiał

Próbki ceramiczne o odpowiednim kształcie, twardości i sposobie wykończenia powierzchni zostały przygotowane zgodnie z normą ISO 10993 w Instytucie Elektrotechniki we Wrocławiu. Do badań użyto trzy rodzaje ceramiki o różnej strukturze powierzchni:

- Ceramika porowata w kształcie walców o wymiarach 10 mm długości i 3 mm średnicy oraz składzie chemicznym Al_2O_3 -95%, MgO-2%, $CaCO_3$ -2% ze spoiwem politlenochloru glinu wykonana metodą tradycyjną [9].

- Ceramika lita w kształcie walców o wymiarach 10 mm długości i 3 mm średnicy, o składzie chemicznym: Al_2O_3 -95%, MgO-3%, $CaCO_3$ -2% otrzymywana metoda żół-żel i spiekana w temperaturze 1500°C przez 30 min. [10].

- Ceramika lita silanowana o tym samym kształcie, wymiarach i składzie chemicznym co ceramika lita. Poddana obróbce silanowania dla zmodyfikowania powierzchni w celu otrzymania określonego potencjału elektrokinetycznego zwanego potencjałem zeta. Do silanowania użyto silanu Z-6020, aminopropylotrietoksilanu. Wypalone elementy ceramiki litej poddawano obróbce wstępnej, tzn. wykonywano szereg płukań do momentu uzyskania stałego pH roztworu, w którym były one zanurzone. Następnie ceramikę suszono w 120°C przez 6 godzin. Silanowanie wykonano metodą zanurzeniową w 1% roztworze silanu w izopropanolu. Po czym suszono przez 3 godziny w 60°C [8, 11].

Operacje

Zwierzęta znieczulano metodą wziewną z użyciem eteru. Wszystkie implantacje wykonywał ten sam zespół chirurgiczny w warunkach sali operacyjnej i aseptyki chirurgicznej.

Technika implantacji wszystkich próbek ceramiki była identyczna. Skórę i tkankę podskórną przecinano w linii środkowej grzbietu na długości ok. 5 cm. Lekko przesuwając skórę na stronę prawą na tępo preparowano mięśnie, a następnie implantowano 2 badane próbki, jedną na wysokości odcinka piersiowego kręgosłupa, drugą na wysokości odcinka lędźwiowego. Lekko przesuwając skórę na stronę lewą, analogicznie implantowano 2 próbki ceramiki porowatej. Mięśnie i ranę skóry zamykano pojedynczymi szwami Dexon 3/0.

Sekcje zwierząt zaplanowano po 7, 30 i 90 dniach, przeznacząc na każdy dzień sekcyny po 5 zwierząt.

Badania sekcyjne

Szczury usypiano stosując letalną dawkę eteru. Do badań patomorfologicznych pobierano wycinki tkanek miękkich wraz z implantem. Po utrwaleniu w 8% formalinie i przeprowadzeniu wycinków w sposób typowy do zatopienia w bloczki parafinowe wykonywano preparaty histologiczne barwione metodą Van Gieson i HE.

Wyniki badań

Badania makroskopowe

7 dni po operacji u wszystkich zwierząt rany skórne były suche i zagoiły się przez rychłozrost. Po odpreparowaniu skóry na grzbiecie i powierzchniowej warstwy mięśni po obu stronach kręgosłupa uwidoczniły się implanty. W bezpośrednim sąsiedztwie wszczepów widoczne były mięśnie

Methods

Evaluation of local soft-tissue reactions after implantation of the ceramics was carried out on 30 rats of the Wistar breed, 4-6 months of age, and 150-200 g in weight.

Materials

Ceramic samples of an appropriate shape, hardness and surface finish were prepared in accordance with ISO 10993 in the Electrotechnical Institute in Wrocław. In this study three types of samples differing in surface structure were used:

- porous ceramics with a cylindrical shape, 10 mm long and 3 mm in diameter, chemical composition: Al_2O_3 -95%, MgO-2%, $CaCO_3$ -2% with aluminium polioxychloride binder prepared by a traditional method [9].

- solid ceramics with a cylindrical shape, 10 mm long and 3 mm in diameter, chemical composition: Al_2O_3 -95%, MgO-3%, $CaCO_3$ -2% received by a sol-gel method and sintered for 30 min at a temperature of 1500°C [10].

- silanated solid ceramics with the shape, size and chemical composition, the same as above subjected to silanation to modify the surface and to obtain a definite electrokinetic potential zeta. The silanation was carried out using silan Z-6020, aminopropylotriethoxilan. The burned elements of solid ceramics were repeatedly rinsed until a constant pH value of the solution in which they were kept was attained. Next the ceramic samples were dried at 120°C for 6 hours. Silanation was performed by dipping in a 1% solution of silan in isopropanol. After that the samples were dried for 3 hours at 60°C [8, 11].

Surgical procedures

Anaesthesia of animals was conducted by an inhalation method using ether. All implantations were carried out by the same surgical team, in the aseptic conditions.

The techniques of implantation for all the ceramic samples were the same. Skin and subcutaneous tissue incisions were made in the midline of the back on the length of 5 cm. After slight displacement of skin to the right, a blunt dissection of muscles was made and next two samples were implanted, one at the level of a thoracic part of spine, second at the level of the lumbar part. After slight displacement of skin to the left two implants of porous ceramics were inserted in the analogous way. The muscles and skin were closed with knot sutures Dexon 3-0.

The sacrifice of animals was planned 7, 30 and 90 days after the surgery with the groups of 5 animals at each period.

Post mortem procedures

Rats were sacrificed by the lethal doses of ether. For the pathomorphological studies the samples of soft tissues with the implanted ceramics were collected. After fixing in 8% formaline and routine mounting in paraffin the histological specimens were prepared and stained according to the Van Gieson and HE methods.

Results

Macroscopic observations

Seven days after the operation in all animals the wounds on skin were dry and healed per primam intentionem. After the preparation of skin on back and superficial layer of muscles on both sides of spine the implants became visible. In the direct vicinity of implants there were muscles without any macroscopic pathological changes. Surfaces of porous ceramic implants were covered with a thin transparent

grzbietu bez makroskopowych zmian patologicznych. Powierzchnie implantów z ceramiki porowatej były pokryte cienką przezroczystą błoną, przez którą przeświecała ich porowata struktura. Wytworzona tkanka wrastała w pory ceramiki i z trudnością ją można było oddzielić od powierzchni wszczepów. Pory ceramiki były wypełnione czerwono-brunatnymi masami.

Obraz makroskopowy po implantacji w mięśnie grzbietu ceramiki litej i ceramiki litej silanowanej był identyczny. W bezpośrednim sąsiedztwie implantów widoczne były mięśnie grzbietu o prawidłowym rysunku bez widocznych zmian patologicznych. Powierzchnia próbek pokryta była cienką przezroczystą błoną, w której widoczne były drobne cienkościenne naczynia krwionośne. Po nacięciu torebki z łatwością można było usunąć wszczepy. Wytworzona torebka nie była związana z powierzchnią implantów.

30 dni po operacji implanty z ceramiki porowatej leżały wśród mięśni otoczone dość grubą białawą torebką, która oddzielała je od mięśni grzbietu. Wytworzona tkanka silnie wrastała w pory wszczepów. Na powierzchni torebki widoczne były cienkościenne naczynia krwionośne.

Implanty z ceramiki litej i silanowanej otoczone były przejrzystą i dość cienką torebką, w której widoczne były drobne naczynia krwionośne. Po nacięciu torebki implanty z łatwością można było usunąć.

90 dni po operacji torebka łącznotkankowa wytworzona na powierzchni ceramiki porowatej była nierównej grubości. Na jej powierzchni widoczne były naczynia krwionośne. Pory implantu wypełniała czerwona tkanka. Wytworzona torebka silnie przerastała powierzchnię ceramiki i zrywała się podczas usuwania implantów (RYS. 1). Torebka, która otaczała implanty z ceramiki litej i ceramiki silanowanej była unaczyniona i znacznie cieńsza. Z łatwością dawała się oddzielić od powierzchni implantów. Mięśnie grzbietu w pobliżu wszczepów miały kolor i rysunek prawidłowy.

Badania mikroskopowe

7 dni po implantacji ceramiki porowatej w mięśnie grzbietu w preparatach histologicznych barwionych hematoksyliną i eozyną widoczna była torebka łącznotkankowa, której szerokość wahała się od 4 do 10 przekrojów komórek mięśniowych. Od strony mięśni była ona ostro odgraniczona. W wytworzonej torebce można było wyróżnić dwie warstwy. Od strony mięśni poprzecznie prążkowanej miała ona charakter młodej tkanki łącznej z licznymi fibrocytami i fibroblastami. Od strony implantu miała charakter bogatokomórkowej tkanki, w której wyróżnić można było liczne komórki typu limfocyta, komórki plazmatyczne, pojedyncze granulocyty wielopłatowe obojętnochłonne oraz bezpostaciowe masy włóknika. Ponadto widoczne były, pojedyncze pączkujące naczynia krwionośne (RYS. 2).

membrane through which the porous structure could be seen. The tissue grew into the pores of ceramic implants and it was difficult to separate. The pores were filled with a reddish-brown mass.

The macroscopic picture of the solid ceramics and solid silanated ceramics after implantation was the same. In the direct vicinity of implants the back muscles did not show any visible pathological changes. The surface of samples was covered with a thin transparent membrane with visible small thin-walled blood vessels. After incision of the capsule it was easy to separate the implants. The capsule was not connected with implant surfaces.

On 30-th day after operation the implants of porous ceramics were imbedded in the muscles and were surrounded with a quite thick white capsule, separating them from the back muscles. The tissue strongly penetrated the pores of implants. Thin walled blood vessels were visible on the capsule surface. The implants of solid ceramics and the silanated ones were surrounded with a transparent and quite thin capsule with small blood vessels in it. After incision of the capsule the implants could be easily removed.

On 90-th day after the operation the connective tissue capsule on the surface of porous ceramics had a non-uniform thickness and blood vessels were visible on its surface. The implant pores were filled with a red tissue. The capsule strongly penetrated the ceramic material and was damaged on implant removal (FIG.1). The capsule surrounding the implants made of silanated ceramics and solid ceramics was vascularised and significantly thinner. It could be easily separated from the implant surface. The muscles in the vicinity of implants had normal colour and appearance.



RYS. 1. Obraz makroskopowy 90 dni po implantacji w mięśnie grzbietu szczura. L - strona lewa ceramika silanowana, P - strona prawa ceramika porowata.

FIG. 1. Macroscopic picture 90 days after implantation into the back muscle of the rat; on the left - the silanated ceramics, on the right - the porous ceramics.



RYS. 2. Obraz mikroskopowy 7 dni po implantacji ceramiki porowatej. U dołu mięśnie poprzecznie prążkowane, do których przylega szerokie pasmo młodej tkanki łącznej (H&E, 140x).

FIG. 2. Microscopic picture 7 days after implantation of porous ceramics. In the middle - a striated muscular tissue with a wide layer of young connective tissue adhering to it (H&E, 140x).

Microscopic findings

Seven days after the implantation of porous ceramics into the back muscles of rats in the histological specimens stained with hematoxyline and eosine a connective tissue capsule was visible and its width varied between 4 and 10 muscle cell cross-sections. On the muscle side it was sharply delineated. It was possible to distinguish two layers in the capsule. On the side of striated muscular tissue there was a typical young connective tissue with a large number of fibrocytes and fibroblasts. On the implant side there was a cell-rich tissue with many cells of lymphocyte type, plasmatic cells, single neutrophilic granulocytes and amorphous fibrin masses. Moreover, single budding blood vessels were visible (FIG. 2).

In the histological specimens taken from the tissues surrounding the implant of solid ceramics, there was a layer of young cell-rich connective tissue with a non-uniform thickness and quite sharp separation from the striated muscular tissue. On the implant side the connective tissue capsule had smooth

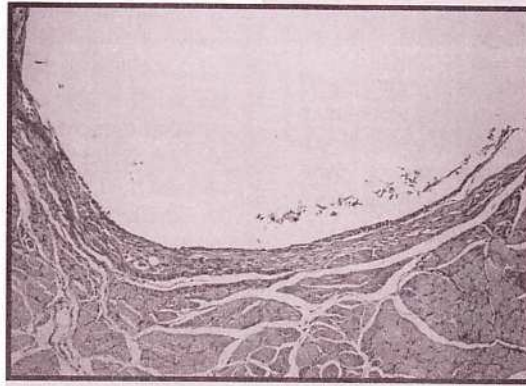
W preparatach histologicznych wykonanych z tkanek pobranych z miejsca implantacji ceramiki litej, obserwowano pasmo młodej bogatokomórkowej tkanki łącznej o nierównej grubości, dość ostro ograniczonej od mięśni poprzecznie prążkowanych. Od strony implantu wytworzona torebka łącznotkankowa miała gładką powierzchnię i pokryta była komórkami o spłaszczonych jądrach.

Obraz mikroskopowy wokół implantu z ceramiki litej silanowanej charakteryzował się obecnością bardzo cienkiej równej torebki łącznotkankowej zbudowanej głównie z fibroblastów i mniej licznych fibrocytów. Szerokość opisywanego pasma łącznotkankowego nie przekraczała przekroju 3 komórek mięśniowych (RYS. 3).

30 dni po implantacji ceramiki porowatej w preparatach histologicznych w pobliżu implantów obserwowano pasmo łącznotkankowe, o bardzo nieregularnym przebiegu i o zróżnicowanej budowie komórkowej. Miejscami opisywana tkanka była cienka i zawierała przede wszystkim fibroblasty i liczne włókna klejorodne. W miejscach gdzie tkanka wnikała w pory ceramiki jej budowa była bardziej luźna, bogatokomórkowa z mniejszą ilością włókien kolagenowych a szerokość wynosiła od 6 do 7 włókien mięśniowych.

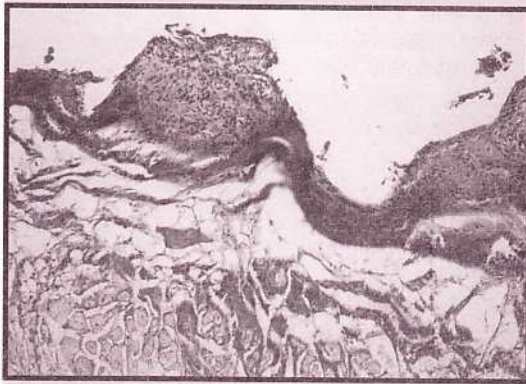
W preparatach histologicznych z mięśni wykonanych po implantacji zarówno ceramiki litej jak i litej silanowanej, obraz mikroskopowy był podobny. Torebka łącznotkankowa wytworzona wokół implantów na całej swojej długości była cienka i zbudowana przede wszystkim z fibrocytów. W preparatach barwionych metodą Van Gieson uwidoczniło się liczne czerwono barwiące się włókna klejorodne. Różnica dotyczyła jedynie grubości wytworzonej torebki łącznotkankowej. Wokół ceramiki litej silanowanej grubość tkanki łącznej wynosiła 1 szerokości komórki mięśniowej, podczas gdy szerokość torebki wytworzonej wokół ceramiki litej była dwa razy większa.

90 dni po implantacji ceramiki porowatej charakter i szerokość wytworzonej torebki łącznotkankowej był podobny jak po 30 dniach (RYS. 4). Torebka łącznotkankowa wokół ceramiki litej i litej silanowanej miała bardziej zbity i włóknisty charakter. Przeważały w niej włókna klejodajne (RYS. 5).



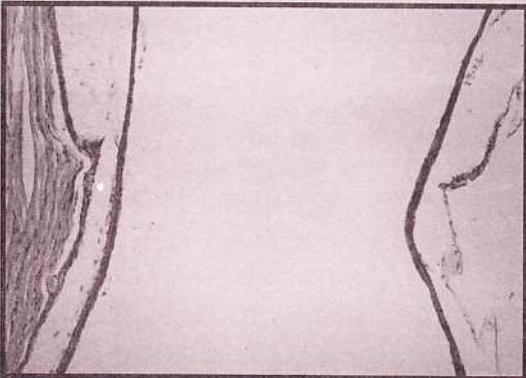
RYS. 3. Obraz mikroskopowy 7 dni po implantacji ceramiki litej silanowanej. Przestrzeń po implanacie ograniczona cienkim, równym pasmem łącznotkankowym (H&E, 140x).

FIG. 3. Microscopic picture 7 days after implantation of solid silanated ceramics. The space after the implant is delineated with a thin uniform layer of connective tissue (H&E, 140x).



RYS. 4. Obraz mikroskopowy 90 dni po implantacji ceramiki porowatej. U dołu przestrzeń po implanacie ograniczona pasmem tkanki łącznej o niejednorodnej budowie (V.Gieson, 140 x).

FIG. 4. Microscopic picture 90 days after implantation of porous ceramics. In the lower part the space after the implant is delineated with a non-uniform layer of connective tissue.



RYS. 5. Obraz mikroskopowy 90 dni po implantacji ceramiki silanowanej. W centrum przestrzeń po implanacie ograniczona cienkim pasmem włóknistej tkanki łącznej (H&E, 140 x).

FIG. 5. Microscopic picture 90 days after implantation of silanated ceramics. In the middle the space after the implant is lined with a thin layer of fibrous connective tissue (H&E, 140x).

surface and was covered by cells with flattened nuclei. Microscopic picture around the implants made of silanated solid ceramics was characterised by the presence of a very thin uniform connective-tissue capsule, mainly composed of fibroblasts and less numerous fibrocytes. The width of the connective-tissue layer did not exceed the cross-section of three muscular cells (FIG. 3).

30 days after implantation of the porous ceramics in the histological specimens near the implants there was a layer of connective tissue with very irregular thickness and diversified cell structure. In some places the examined tissue was thin and contained first of all fibroblasts and numerous collagenous fibres. In places where the tissue penetrated the pores of ceramic implant its structure was more loose, cell-rich with less numerous collagen fibres and width 6 to 7 muscle fibres.

In the histological samples prepared from muscles after implantation of solid ceramics or silanated solid ceramics the microscopic pictures were similar. The connective tissue capsule around the implants was thin and built mainly of fibrocytes. The specimens stained according to the Van Gieson method showed numerous red-stained collagenous fibres. The only difference concerned the thickness of this connective tissue layer. Around the silanated solid ceramics its thickness was half the muscle cell width while around the solid ceramic it was twice bigger.

90 days after implantation of porous ceramics the character and thickness of the connective tissue capsule were similar as after 30 days (FIG.4). The connective tissue capsule around the solid and silanated solid ceramics was more compact and fibrous with predominant collagenous fibres (FIG. 5).

Discussion

On the basis of macroscopic and microscopic evaluation of implanted ceramics in the early period (up to 3 months) it was possible to determine the character and intensity of the tissue reaction around the implants with different surface structures. Porous ceramics evokes a much stronger inflammatory reaction divided into two phases:

- the exudative phase manifesting itself by the presence of cellofibrinous exudate, which lasts up to

Omówienie

Na podstawie przeprowadzonych badań implantacyjnych, makroskopowych i mikroskopowych w okresie wczesnym tj. do 3 miesięcy, można określić charakter i wielkość odczynu tkankowego, jaki występuje wokół badanych ceramiki różniących się strukturą powierzchni. Ceramika porowata wywołuje znacznie silniejszy odczyn zapalny, w którym rozróżniamy 2 fazy :

- fazę wysiękową manifestującą się występowaniem wysięku włóknikowo-komórkowego, który utrzymuje się do 3 miesięcy po implantacji w bezpośrednim sąsiedztwie ceramiki;

- fazę proliferacyjną, która doprowadza do wytworzenia się torebki łącznotkankowej oddzielającej implant od strony mięśni poprzecznie prążkowanych.

Odczyn tkankowy występujący wokół ceramiki litej charakteryzował się krótkotrwałą, mało nasiloną fazą wysiękową.

30 dni po implantacji ceramikę litą otaczało dość cienkie pasmo włóknistej tkanki łącznej. Ceramika lita silanowana o modyfikowanej powierzchni, a zatem określonym, celowo otrzymanym potencjale elektrokinetycznym zeta, wywołuje minimalny miejscowy odczyn tkankowy bez widocznej fazy wysiękowej. 30 dni po implantacji, wszczep był otoczony bardzo cienkim, włóknistym pasmem tkanki łącznej.

Wnioski

1. Ceramika lita silanowana o określonym na powierzchni potencjale elektrokinetycznym zeta wywołuje minimalny miejscowy odczyn tkankowy.
2. Ceramika lita wywołuje lekko nasilony odczyn tkankowy.
3. Najsilniejszą reakcją tkankową, manifestującą się obfitą, długotrwałą fazą wysiękową, stwierdzono wokół ceramiki porowatej.

Podziękowania

Praca wykonana w projekcie badawczym nr 407 realizowanym w ramach badań własnych Uczelni

Piśmiennictwo

- [1] Adenis J.P., Bertin P., Lasudry J.G., Boncoeur-Martel M.P., Leboutet M.J., Robert P.Y.: Treatment of the postnucleation socket syndrome with a new hydroxyapatite tricalcium phosphate ceramic implant. *Ophtal. Plast. Surg.* 1999, 15, 4, 277-283.
- [2] Bossetti M., Ottani V., Kozel D., Raspanti D.E., Pasquale V., Ruggeri A., Cannas M.: Structural and functional macrophages alterations by ceramics of different composition. *Biomaterials* 1999, 20, 4, 363-370.
- [3] Gauthier O., Bouler J.M., Weiss P., Bosco J., Daculsi G., Aguado E.: Kinetic study of bone ingrowths and ceramic resorption associated with the implantation of different injectable calcium-phosphate bone substitutes.
- [4] Kubo T., Sawada K., Hirakawa K., Shimizu C., Takamatsu T., Hirasawa Y.: Histocyte reaction in rabbit femurs to UHMWPE, metal, and ceramic particles in different sizes. *J. Biomed. Mater. Res.* 1999, 45, 4, 363-370.

3 months after implantation in the direct vicinity of the ceramic material,

- the proliferative phase, which leads to the formation of a connective tissue capsule separating the implant from the striated muscular tissue.

The tissue reaction around the solid ceramics is characterised by a short and not very intensive exudative phase.

30 days after implantation the solid ceramics is surrounded by a quite thin layer of fibrous connective tissue. The surface-modified silanated solid ceramics with a definite, purposely introduced electrokinetic potential zeta, evokes a minimal local tissue reaction without any visible exudative phase. 30 days after implantation, the implant is surrounded by a very thin layer of fibrous connective tissue.

Conclusions

1. Solid silanated ceramics, with a purposely-applied electrokinetic potential zeta on the surface, evokes a minimal local tissue reaction.
2. Solid ceramics evokes slightly more intensive tissue reaction.
3. The most intensive tissue reaction manifested by an abundant and long-lasting exudative phase is observed in the case of porous ceramics.

Acknowledgements

Work carried out under research project NR 407 (Medical Academy)

References

- [5] Laczka-Osyczka A., Turyna B., Dubin A., Laczka M.: Comparison of biocompatibility of gel-derived bioactive ceramics in macrophage culture conditions.
- [6] Lemons J.E.: Ceramics: past, present, and future. *Bone* 1996, 19, 1 suppl., 121S-128S.
- [7] Lu J.X., Gallur A., Anselme K., Descamps M., Thierry B., Hardouin P.: Comparative study of tissue reactions to calcium phosphate ceramics among cancellous, cortical, and medullar bone sites in rabbits. *J. Biomed. Mater. Res.* 1998, 42, 3, 357-367.
- [8] Sonntag H.: *Koloidy*. PWN 1982, Rozdz. V, 137-165.
- [9] Szafran M., Laskowska J., Jaegerman Z.: Bioceramiczne materiały porowate, *Szkło i Ceramika* 1, 2000, 9-15.
- [10] Wnukiewicz J., Zboromiska-Wnukiewicz B.: Ocena rentgenowska ceramiki niskoporowatej otrzymywanej metodą zol-żel, wszczepionej do tkanek miękkich. Doświadczenia na zwierzętach. *Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej. Materiały kompozytowe- właściwości wytwarzanie, zastosowanie*. Wrocław 1999, 221-227.
- [11] Zboromirska-Wnukiewicz B., Gasperowicz A., Sokolowski A.: Modyfikacja powierzchni nośników ceramicznych zwiększających immobilizację drobnoustrojów w procesach fermentacyjnych. *Postępy w Elektrotechnologii*. IV Konferencja Naukowa. Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000, 293-296.