

# OCENA GOJENIA UBYTKÓW KOSTNYCH ŻUCHWY KRÓLIKÓW WYPEŁNIONYCH TWORZYWEM KALCYTOWYM – BADANIA WSTĘPNE

MAGDALENA CIEŚLIK<sup>1</sup>, MAREK ADWENT<sup>2</sup>, DANIEL SABAT<sup>3</sup>, ZBIGNIEW JAEGERMANN<sup>4</sup>, PAWEŁ TARABUŁA<sup>2</sup>, RAJMUND ORLICKI<sup>1</sup>, TADEUSZ CIEŚLIK<sup>2</sup>

ŚLĄSKI UNIWERSYTET MEDYCZNY W KATOWICACH

<sup>1</sup>KATEDRA I ZAKŁAD MATERIAŁOZNAWSTWA STOMATOLOGICZNEGO W BYTOMIU,

<sup>2</sup>KATEDRA I KLINIKA CHIRURGII CZASZKOWO-SZCZĘKOWO-TWARZOWEJ W KATOWICACH,

<sup>3</sup>KATEDRA I ZAKŁAD PATOMORFOLOGII W ZABRZU,

<sup>4</sup>INSTYTUT SZKŁA, CERAMIKI, MATERIAŁÓW OGNIOTRWALYCH I BUDOWLANYCH W WARSZAWIE, ZAKŁAD BIOCERAMIKI

## Streszczenie

*W badaniach doświadczalnych wykonanych na 28 królikach użyto węgla wapniowego w odmianie krystalograficznej aragonitu (CaCO<sub>3</sub>). Badany materiał wszczepiono w twardą tkankę zwierząt doświadczalnych. Zaplanowano wykonanie obserwacji klinicznych przebiegu gojenia ran, a po ich zabiciu badań radiologicznych, makroskopowych i histopatologicznych w 3, 7 i 14 dobie, oraz 3, 4, 6 i 12 tygodniu doświadczenia. Wstępne wyniki badań wykazały, iż badany materiał nie wywołuje zarówno miejscowych jak i ogólnoustrojowych negatywnych reakcji, a proces gojenia ran kostnych w jego obecności przebiega prawidłowo. Ponadto wraz z upływem czasu ulega stopniowemu rozkładowi, z następującą równocześnie odbudową tkanki kostnej w miejscu jego usytuowania.*

**Słowa kluczowe:** biomateriały, ceramika, węgiel wapniowy, badania in vivo na zwierzętach  
[Inżynieria Biomateriałów, 89-91, (2009), 57-61]

## Wprowadzenie

Współczesna medycyna, a w szczególności ortopedia, chirurgia szczękowo - twarzowa, periodontologia, w coraz większym zakresie posługuje się materiałami zastępczymi pozwalającymi na uzupełnienie lub odtworzenie brakujących struktur [1]. Są to najczęściej ubytki tkanki kostnej powstałe po urazach, torbielach kostnych, nowotworach, czy też zmianach zwyrodnieniowych. O ile jest to możliwe, ubytki takie uzupełniane są chętnie i skutecznie kością własną pacjenta, lub też pobieraną z banku kostnego [2]. Nie zawsze jednak stan ogólny pacjenta pozwala na pobranie od niego samej kości, lub też jakość kości na skutek toczącej się osteoporozy jest właściwa. Wtórna kość ulega po wszczepieniu w krótkim czasie przebudowie, a nierzadko zostaje wchłonięta, co jest niekorzystnym zjawiskiem. Nie każda kość pobrana z banku tkanek jest pozbawiona najdrobniejszych łańcuchów białkowych, a to może być przyczyną przeniesienia groźnych chorób. Stosowane od lat w chirurgii rekonstrukcyjnej metale używane były i są głównie jako elementy stabilizacyjne i mają one znaczną wadę w postaci dużej podatności na korozję. Wyjątkiem jest tytan i jego stopy, które mogą być stosowane również w postaci różnorodnych kształtów, ale także w postaci sproszkowanej do uzupełnienia ubytków tkanki kostnej. Zdolność do

# THE EVALUATION OF THE HEALING PROCESS OF RABBIT MANDIBLE BONE DEFECTS FILLED WITH CALCITE MATERIAL - INTRODUCTORY EXAMINATIONS

MAGDALENA CIEŚLIK<sup>1</sup>, MAREK ADWENT<sup>2</sup>, DANIEL SABAT<sup>3</sup>, ZBIGNIEW JAEGERMANN<sup>4</sup>, PAWEŁ TARABUŁA<sup>2</sup>, RAJMUND ORLICKI<sup>1</sup>, TADEUSZ CIEŚLIK<sup>2</sup>

MEDICAL UNIVERSITY OF SILESIA, KATOWICE, POLAND

<sup>1</sup>CHAIR AND DEPARTMENT OF STOMATOLOGICAL MATERIAL SCIENCE, 17 AKADEMICKI SQ., 41- 907 BYTOM,

<sup>2</sup>DEPARTMENT AND CLINIC OF MAXILLOFACIAL SURGERY, 20/24 FRANCUSKA STR., 40 -027 KATOWICE

<sup>3</sup>DEPARTMENT AND INSTITUTE OF PATHOMORPHOLOGY, 13-15 3 MAJA STR., 41- 800 ZABRZE,

<sup>4</sup>INSTITUTE OF GLASS, CERAMICS, REFRACTORY AND CONSTRUCTION MATERIALS, DEPARTMENT OF BIOCERAMICS, WARSAW, POLAND

## Abstract

*Calcium carbonate in its crystallographic form of aragonite (CaCO<sub>3</sub>) was used in the experiments performed on 28 rabbits. The material under evaluation was implanted in the hard tissue of the experiment animals. Plans were made to carry out clinical observations of the wound healing process, and after sacrificing the animals - to perform radiological, macroscopic and histopathological examinations on the 3rd, 7th and 14th day and in the 3rd, 4th, 6th and 12th week of the experiment. Introductory results of the examinations showed that the evaluated material does not cause any negative reactions, neither local nor systemic, and the process of osseous wounds healing in its presence proceeds in a correct way. Moreover, with the passage of time, the material undergoes decomposition and simultaneously new bone tissue is formed in the place it is located.*

**Key words:** biomaterials, ceramics, calcium carbonate, in vivo examinations on animals  
[Engineering of Biomaterials, 89-91, (2009), 57-61]

## Introduction

Modern medicine, particularly orthopedics, maxillofacial surgery or periodontology, increasingly rely upon substitute materials allowing for completion or restoration of the missing structures [1]. They are most frequently bone tissue defects caused by injuries, bone cysts, tumors or degeneration lesions. Whenever it is possible, such defects are successfully filled with the patient's own bone, or one acquired in bone banks [2]. However, the patient's condition not always allows for taking his/her own bone, or the quality of his/her bone is deficient because of osteoporosis. The secondary bone is reconstructed shortly after implantation; quite frequently it is absorbed, which is a disadvantageous phenomenon. Not every bone acquired from a bone bank is deprived of the most minuscule protein chains, which can transmit dangerous diseases. Metals have been used for years in reconstructive surgery mainly as stabilizing elements; however, their main flaw is being susceptible to corrosion. One exception is titanium and its alloys, which can be used in different shapes and also in the form of powder

korozji tworzyw metalicznych była przyczyną poszukiwania materiałów ceramicznych na powłoki umieszczane zawsze na powierzchniach stopów stali medycznych jak i stopów tytanowych [3].

Wobec stałego niezadowolenia z istniejących materiałów zaczęto poszukiwać nowe materiały, które mogą po wprowadzeniu do organizmów żywych być rozkładane pod wpływem płynów fizjologicznych na końcowe produkty jak węgiel, woda czy dwutlenek węgla. Zalicza się do nich materiały węglowe, polimerowe (polimer kwasu mlekowego i glikolowego) czy oparte na ich bazie kompozyty [4,5]. Zwrócono również uwagę na wiele materiałów ceramicznych takich jak m.in. hydroksyapatyt. Są to tworzywa w większości występujące w naturze i chociaż na ogół mają gorsze właściwości mechaniczne to cechuje je pełna biouzgodność. Część z tych materiałów cechuje inertność, co oznacza, że są one całkowicie obojętne dla organizmu i wprowadzone do niego pozostaną w nim na stałe [6,7]. Inne to tzw. materiały bioaktywne, do których należą hydroksyapatyt i bioszkló, które w niewielkim stopniu ulegają degradacji, pozostając jednak w organizmie pobudzają tkankę kostną do wzrostu [8, 9]. Wydaje się, iż najlepszymi materiałami są ceramiki resorbowalne, do których należą m.in. węglany wapnia, a wśród nich bezwodna postać węglanu wapnia – kalcyt, aragonit i wateryt [10-18].

## Material i metody

W pracy zastosowano węglan wapniowy w odmianie krystalograficznej aragonitu, którego metoda otrzymania została opracowana i wdrożona w Instytucie Szklą i Ceramiką w Warszawie [19].

Zgodnie z zaleceniami Komisji Bioetycznej ds. badań na zwierzętach do badań doświadczalnych użyto 28 dorosłych królików, obojga płci o wadze od 2500–3500 g.. Badania wykonano w Centrum Medycyny Doświadczalnej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w warunkach sali operacyjnej.

Zabiegom operacyjnym poddano wszystkie zwierzęta, którym przed wniesieniem na salę operacyjną podano premedykację z użyciem Xylazyny 2% (0, 2mg/kg masy ciała i.m.). Po 20 minutach wykonano znieczulenie ogólne podając w tym celu Ketaminę (20mg/kg), Thiopental (25mg/kg) i Atropinę (0,5mg/kg). Następnie wycięto sierść i wygolono skórę w okolicy podżuchwowej zwierząt i po jej dezynfekcji ostrzyknięto miejsce operowane 2% lignokainą z noradrenaliną (2cm). Wykonano nacięcie skóry w linii pośrodkowej pomiędzy dolnymi krawędziami żuchwy. Przesunięto miejsce nacięcia wraz ze skórą na dolną krawędź żuchwy, po stronie prawej nacięto okostną i odsłonięto boczną powierzchnię żuchwy. Pomiędzy korzeniami zębów siecznych i przedtrzonowych wykonano wiertłem różyczkowym, umocowanym w prostnicy wiertarki dentystrycznej, ubytek kostny o średnicy 4mm i głębokości 3mm. Ubytek pozostawiono wypełniony skrzepem krwi – grupa kontrolna. W identyczny sposób postąpiono po stronie lewej wypełniając go tworzywem kalcytowym ( $\text{CaCO}_3$ ) – grupa badana. Ranę zaszywano warstwowo stosując do zamknięcia warstwy głębokiej nici Dexon 4.0, natomiast do zszycia skóry nici Amifil 4.0.

Zoperowane króliki poddano ocenie klinicznej, a po ich zabiciu (przy użyciu morbitalu - 200mg/kg) ocenie makroskopowej okolicznych tkanek, oraz bezpośrednio miejsc operowanych, a także badaniu radiologicznemu i histopatologicznemu w 3, 7 i 14 dobie, oraz 3, 4, 6 i 12 tygodniu doświadczenia.

Oceny radiologicznej dokonano na podstawie zdjęć rentgenowskich obejmujących trzon żuchwy, oraz ubytki kostne. Zdjęcia rentgenowskie wykonano w Pracowni Rentgenowskiej przy Poradni Przyklinicznej Kliniki Chirurgii Czaszkowo-

to complete bone tissue defects. Metallic materials' corrosion susceptibility was the reason why ceramic materials were sought after, so that they could be used as coating for medical steel alloys and titanium alloys [3].

Because of the constant dissatisfaction with the existing materials, there was a need for new ones, which after introducing into living organisms could be decomposed by physiologic saline into end products (carbon, water or carbon dioxide). Such materials include carbon materials, polymers (lactic acid and glycolic acid polymer) or composites based on them [4, 5]. Attention was also given to a number of ceramic materials such as hydroxyapatite. They are mostly natural materials and, although they have worse mechanical properties, they are fully biocompatible. Some of these materials are characterized by inertion, which means that they are totally neutral for the organism and once introduced into it, they will stay in it forever [6,7]. Other materials are so called bioactive materials, including hydroxyapatite and bioglass, which become only slightly decomposed, remaining in the organism and arousing bone tissue to grow [8,9]. It seems that the best material is resorbable ceramics, including calcium carbonates, and among them the anhydrous form of calcium carbonate – calcite, aragonite and vaterite [10-18].

## Material and methods

The material used in the research was calcium carbonate in its crystallographic form of aragonite; the method of obtaining it was developed and implemented the Institute of Glass, Ceramics, Refractory and Reconstruction Materials in Warsaw [19].

According to the recommendations of the Bioethics Committee Concerning Research on Animals, 28 adult rabbits of both sexes weighing 2500-3500 grams were used for the research. The examinations were carried out in the Experimental Medicine Centre of the Medical University of Silesia in operating room conditions.

All the animals underwent operation after having been given premedication: 2% Xylazine (0.2 mg/kg of body weight i.m.). After 20 minutes general anesthesia was performed with the use of Ketamine (20 mg/kg), Thiopental (25mg/kg) and Atropine (0.05mg/kg). Next, the fur was cut and the submaxillary area skin was shaved. After disinfecting it, the operation place was injected with 2% Lignocaine with Noradrenaline (2cm). An incision was made in the skin on the median line between the lower edges of the mandible. The incision spot was shifted together with the skin on the lower edge of the mandible; on the right side, the periosteum was incised and the lateral surface of the mandible was uncovered. A rosette drilling tool fixed in the turbine of a clinical drill was used to make a bone defect of 4mm diameter and 3 mm depth between the roots of incisive and premolar teeth. The defect was left filled with blood clot – the control group. An identical method was used on the left side filling the defect with calcite material ( $\text{CaCO}_3$ ) – the examination group. The wound was sutured in layers; Dexon 4.0 sutures were used to close the deep layer and Amifil 4.0 sutures were used to suture the skin.

The operated rabbits underwent clinical evaluation, and after sacrificing them (with the use of morbital 200mg/kg) macroscopic assessment of the surrounding tissue as well as the operated areas was made; also radiological and histopathological examinations were performed on the 3rd, 7th and 14th day and in the 3rd, 4th, 6th and 12th week of the examination.

Radiological examination was based on X-ray pictures of the body of the mandible and the bone defects. The X-ray

Szczękowo–Twarzowej w Katowicach. Badania histopatologiczne wykonano w I Katedrze i Zakładzie Patomorfologii Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Zabrze. Ocenie poddano tkankę kostną w miejscu wykonanych ubytków, oraz w obszarze miejsc bezpośrednio przylegających do ubytku kostnego. Oceniano również tkanki bezpośrednio pokrywające ubytek kostny. Ocenie histopatologicznej poddano ponadto narządy wewnętrzne operowanych królików - wątrobę i nerki.

## Wyniki

Obserwacje kliniczne wykazały, iż w obu grupach zwierzęta po wybudzeniu zachowywały się spokojnie. Początkowo były osłabione i przyjmowały pozycję wyczekiwania. Sprawiały wrażenie zdezorientowanych, stopniowo jednak stawały się ruchliwe i w 2-3 godziny po zabiegu rozpoczęły picie wody. Między 5 a 10 godziną rozpoczęły jedzenie karmy, dawując sobie jej ilość. Spokojne wyczekiwanie w początkowych okresach wskazywało na brak bólu i cierpienia. Miejsca operowane były dla zwierząt trudno dostępne, nie zauważono jednak prób rozdrapywania ran. Między 3 a 5 dobą po zabiegu operacyjnym ustępował obrzęk tkanek, który był widoczny w okolicy ran skórnych. W tych też okresach widoczne było zgrubienie tkanek. Nie stwierdzono objawów gromadzenia się nadmiaru wydzieliny przyrannej czy obecności krwiaka, u pojedynczych zwierząt dawało się zauważyć jednak zaczerwienienie skóry wokół szwów. Zgrubienia tkanek utrzymywały się u większości zwierząt do 21 doby, u części jednak dawało się je zauważyć i wyczuć w trakcie badania palpacyjnego jeszcze po 4 i 5 tygodniach. Przez cały okres obserwacji zwierzęta stopniowo i nieznacznie przybierały na wadze.

W trakcie badań makroskopowych stwierdzono, iż miejsce wykonanego ubytku, zarówno w grupie kontrolnej jak i badanej, stopniowo wypełniało się narastającą, nową tkanką kostną. W obu grupach do 6 tygodnia obserwacji miejsce rany kostnej różniło się od otoczenia i pokryte było uginającą się pod wpływem ucisku młodą tkanką. Po tym okresie miejsce ubytku rozpoznawalne było tylko ze względu na nieznaczne różnice w zabarwieniu, oraz ze względu na obecność drobnych por (grupa kontrolna) lub drobin białawego wszczepionego materiału (grupa badana). Konsystencja tkanki była już całkowicie twarda i nie różniła się pod tym względem od otoczenia (RYS.1, RYS.2).

Badania radiologiczne po 7 dobach wykazały w obu grupach obecność, w miejscu wykonanych ubytków kostnych, kulistego przejaśnienia o regularnych brzegach. W

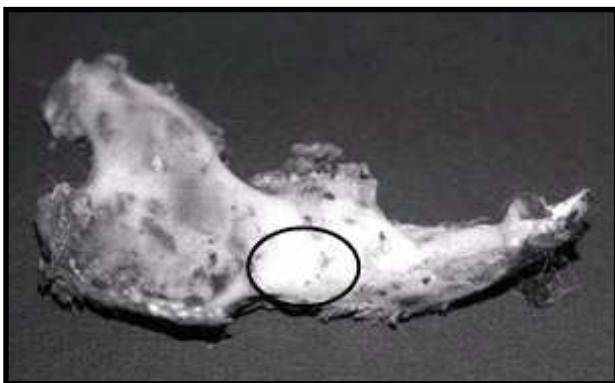
pictures were taken in the X-ray laboratory at the Consulting Centre of the Clinic of Maxillofacial Surgery in Katowice. The histopathological examinations were made at the 1st Faculty and Institute of Patomorphology at the Medical University of Silesia in Zabrze. The bone tissue in the previously-made defects and in the areas directly adjoining the defect was assessed. Also, the tissue directly covering the defect was assessed. Internal organs of the operated rabbits – liver and kidneys underwent histopathological examination.

## Results

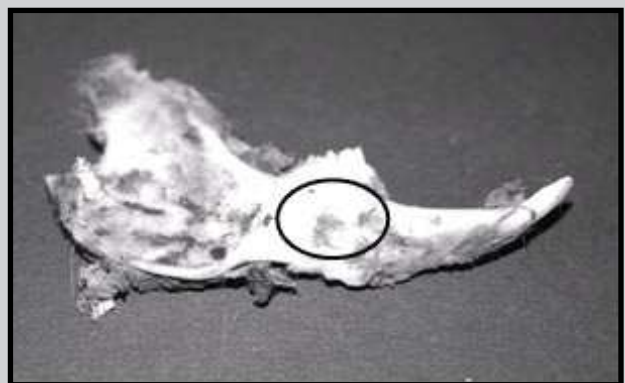
Clinical observation showed that in both groups the animals behaved in a calm way after awakening. At the beginning they were weakened and adapted an awaiting position. They made an impression of being confused; however they were gradually becoming more active and 2-3 hours after the operation they accepted water. Between the 5th and the 10th hour they started to eat fodder, taking it in portions. Calm awaiting in the initial periods indicated that they did not experience pain and suffering. The operated places were hardly accessible for the animals, however, no attempts at scratching the wounds were observed. Between the 3rd and the 5th day after the operation the tissue swelling visible around the skin wounds gradually disappeared. At the same time, tissue thickening was also visible. Wound secretion did not appear in excess and no hematoma was present; however, a few animals had skin reddening around the sutures. Tissue thickening was present until the 21st day with most animals; however, with a few animals it could still be seen and felt during palpation examination still after the 4th and the 5th week. During the whole examination periods the animals were gradually putting on weight.

During macroscopic examinations it was established that the place where the defect had been made was gradually filling with growing, new bone tissue, both in the control group and the examined group. In both groups, until the 6th week, the area of the bone wound was different from the surrounding area and it was covered with new tissue which was bending under pressure. After that period the area of the defect was only recognizable because of a slight difference in color and because of the presence of tiny pores (control group) or particles of white implant material (examined group). The consistency of the tissue was already totally hard and did not differ from the surrounding area (FIG.1, FIG.2).

Radiological examination after 7 days showed in both groups the presence of spherical translucence with regular



**RYS.1.** Grupa kontrolna – 12 tydzień – gojący się na bazie skrzepu krwi ubytek kostny zuchwy wypełniony nowopowstałą, twardą tkanką kostną.  
**FIG.1.** Control group – 12th week – healing mandible bone defect with blood clot, filled with newly-formed hard bone tissue.



**RYS.2.** Grupa badana – 12 tydzień – gojący się w obecności kalcytu ubytek kostny zuchwy wypełniony nowopowstałą, twardą tkanką kostną.  
**FIG.2.** Examination group – 12th week – healing mandible bone defect with calcite, filled with newly-formed hard bone tissue.



**RYS.3. Grupa kontrolna – 12 tydzień – obraz radiologiczny ubytku kostnego w żuchwie królika.**  
**FIG.3. Control group – 12th week – radiologic picture of bone defect in rabbit mandible.**

późniejszych okresach przejaśnienie stopniowo zanikało, przybierając nieregularną postać. Świadczyło to o toczącym się procesie kościotworzenia. Zarówno w grupie kontrolnej jak i badanej po 12 tygodniach eksperymentu praktycznie cały ubytek pokryty był nowo powstałą tkanką kostną. Ujawniły to obrazy radiologiczne, na których trudno już było dostrzec jakiegokolwiek przejaśnienie (RYS.3, RYS.4).

Przeprowadzone do 21 doby wstępne badania histopatologiczne ujawniły, iż proces regeneracji ubytków kostnych nie był jeszcze całkowicie zakończony. W obu grupach widoczne były beleczki kostne, częściowo wykazujące jeszcze cechy aktywności osteoblastycznej. W grupie badanej rozrastały się one wokół drobin wszczepu i wbudowywały go w nowo tworzoną kość. Procesowi formowania tkanki kostnej towarzyszyła ponadto obecność nie tylko osteoblastów, ale i licznych osteoklastów, szczególnie wokół wbudowanych w kość drobin wszczepu.

W badanych narządach wewnętrznych zwierząt doświadczalnych tj. nerkach i wątrobie nie stwierdzono zmian patologicznych związanych z wprowadzonymi do tkanek królików wszzczepami.

## Podsumowanie

Przeprowadzone w pracy badania *in vivo* wykazały, iż wprowadzony do ubytków kostnych żuchwy królików węgiel wapniowy  $\text{CaCO}_3$  nie wywołuje zarówno miejscowych jak i ogólnoustrojowych negatywnych reakcji. Ponadto w obecności wszczepów wykonanych z badanego materiału proces gojenia ran kostnych przebiega prawidłowo, czemu towarzyszy powstawanie właściwej tkanki kostnej. Wprowadzony do kości królików kalcyt wraz z upływem czasu ulega stopniowemu rozkładowi, z następującą równocześnie odbudową tkanki kostnej w miejscu jego usytuowania.



**RYS.4. Grupa badana – 12 tydzień – obraz radiologiczny ubytku kostnego w żuchwie królika.**  
**FIG.4. Examined group – 12th week – radiologic picture of bone defect in rabbit mandible.**

edges, which was visible in the bone defects. In further periods the translucence was gradually disappearing, taking an irregular shape. It was evidence of the bone formation process in progress. Both in the control group and in the examined group the whole defect was covered with newly formed bone tissue after 12 weeks of the experiment. It was shown by radiologic pictures, where hardly any translucence was visible (FIG.3, FIG.4).

Introductory histopathological examinations carried out until the 21st day showed that the regeneration process of bone defects was not completed. In both groups bone trabeculae were visible; they partly showed traces of osteoblastic activity. In the examination group they proliferated around particles of the implant and incorporated it in the newly-formed bone. Moreover, the process of bone tissue forming was accompanied not only by the presence of osteoblasts, but also numerous osteoclasts, particularly around implant particles incorporated into the bone.

In the examined internal organs of the experimental animals, that is kidneys and liver, no pathologic changes resulted from introducing implants in the rabbits' tissue.

## Conclusion

*In vivo* examinations carried out in this research have shown that calcium carbonate  $\text{CaCO}_3$  introduced into bone defects made in rabbit mandible does not induce any negative reactions, either local or systemic. Moreover, the process of osseous wounds healing in the presence of the implants made from the examined material proceeds in a correct way and proper bone tissue is formed. Calcite introduced into rabbit bone is gradually decomposed after a period of time and simultaneously bone tissue is reconstructed in the place it was located.

## Piśmiennictwo

- [1] Ślósarczyk A.: Biomateriały ceramiczne, w: Biomateriały, Tom VI, w: Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000 pod red. M. Nałęcza, Akad. Oficyna Wyd. EXIT, Warszawa 2002.
- [2] Cieślík M., Nocoń J., Rauch J., Łączka M., Rauch B., Cieślík T. Healing of guinea pigs' mandible osseous wounds filled with deproteinized human bone and its mixture with bio-glass. *Pol. J. Environ. Stud.* 2009, 18 (1A), 17-20.
- [3] Mitri F.F., Yoshimoto M., Allegrini Junior S., Koo S., Carbonari M.J., König Junior B. Histological findings in titanium implants coated with calcium phosphate ceramics installed in rabbit's tibias. *Annals Anat.* 2005, 187(1), 93-8.

## References

- [4] Cieślík M., Cieślík-Bielecka A., Adwent M., Sabat D., Bajor G., Cieślík T., Wysoczańska M. Obserwacje gojenia ran kostnych żuchwy królików wypełnionych kopolimerem glikolidu z laktidem z dodatkiem hydroksyapatytu. *Przegl. Med. Uniwersyt. Rzeszowskiego* 2005, 2, 99-102.
- [5] Price R.L., Ellison K., Haberstroh K.M., Webster T.J. Nanometer surface roughness increases select osteoblast adhesion on carbon nanofiber compacts. *J. Biomed. Mater. Res. A.* 2004, 70(1), 129-138.

- [6] Cieślak T., Pgorzelska-Stronczak B., Szczurek Z., Koszowski R., Sabat D., Zajęcki W. Ocena gojenia ran kostnych żuchwy wypełnionych krakowską bioceramiką hydroksyapatytową (Ha-Biocer) u świń morskich. *Czas. Stomat.* 1997, L, 7, 483-487.
- [7] Szczyrek P. Badanie gęstości, porowatości i nasiąkliwości materiałów ceramicznych. *Protet. Stomatol.* 2006, LVI, 5, 390-392.
- [8] Fujita Y., Yamamuro T., Nakamura T., Kitsugi T., Kotani S., Ohtsuki C., Kokubo T. Mechanism and strength of bonding between two bioactive ceramics in vivo. *J. Biomed. Mater. Res.* 1992, 26(10), 1311-1324.
- [9] Lu H.H., Tang A., Oh S.C., Spalazzi J.P., Dionisio K. Compositional effects on the formation of a calcium phosphate layer and the response of osteoblast-like cells on polymer-bioactive glass composites. *Biomaterials* 2005, 26(32), 6323-6334.
- [10] Jaegermann Z., Turzańska K., Michałowski S., Jabłoński M. Wstępne badania kalcytowej ceramiki porowatej metodą mikrotomografii komputerowej. *Inż. Biomater.* 2007, 65-66, 45-47.
- [11] Michałowski S., Jaegermann Z., Karaś J. Wpływ składu chemicznego i parametrów spiekania na właściwości tworzyw kalcytowych. *Inż. Biomater.* 2005, 47-53, 28-29.
- [12] Janda-Wasiluk L. Celowe replantacje zębów z zastosowaniem preparatu węglanu wapnia w postaci Biocoralu w materiał doświadczalnym. *Stomatol. Współ.* 1997, 4(3), 176-183.
- [13] Janda-Wasiluk L. Kliniczne zastosowanie preparatu węglanu wapnia w postaci Biocoralu w przypadkach celowej replantacji i autotransplantacji zębów. *Stomatol. Współ.* 1997, 4(5), 355-362.

- [14] Arkuszewski P., Kozakiewicz M., Dudek D. Radiologiczna ocena zastosowania materiału Dexon Mesh w leczeniu ubytków kości na drodze sterowanej regeneracji tkanek u szczurów. *Czas. Stomatol.* 2006, 12, 846-858.
- [15] Dominiak M., Łysiak K. Ocena skuteczności wybranej metody regeneracji kości z zastosowaniem materiału wszczepialnego w leczeniu poekstrakcyjnym ubytków kości wyrostka zębodołowego – badania wstępne. *Dent. Med. Probl.* 2006, 43(3), 368-378.
- [16] Fujita Y., Yamamuro T., Nakamura T., Kotani S., Ohtsuki C., Kokubo T. The bonding behavior of calcite to bone. *J. Biomed. Mater. Res.* 1991, 25(8), 991-1003.
- [17] Liu D., Tian H., Jia X., Zhang L. Effects of calcium carbonate polymorph on the structure and properties of soy protein-based nanocomposites. *Macromol. Biosci.* 2008, 8(5), 401-409.
- [18] Constantz B.R., Barr B.M., Ison I.C., Fulmer M.T., Baker J., McKinney L., Goodman S.B., Gunasekaran S., Delaney D.C., Ross J., Poser R.D. Histological, chemical, and crystallographic analysis of four calcium phosphate cements in different rabbit osseous sites. *J. Biomed. Mater. Res.* 1998, 43(4), 451-461.
- [19] Michałowski S., Jaegermann Z., Karaś J. Właściwości tworzyw kalcytowych przeznaczonych na nośniki żywych komórek. *Inż. Biomater.* 2004, 38-43, 94-96.

## WPŁYW TEMPERATURY WYGRZEWANIA WARSTW $TiO_2$ OTRZYMANÝCH METODĄ ZOL-ŻEL NA WŁAŚCIWOŚCI KOROZYJNE BIOMEDYCZNEGO STOPU PANACEA P558

BARBARA BURNAT\* TADEUSZ BŁASZCZYK HENRYK SCHOLL

UNIWERSYTET ŁÓDZKI, WYDZIAŁ CHEMII,  
KATEDRA CHEMII OGÓLNEJ I NIEORGANICZNEJ,  
NARUTOWICZA 68, 90-136 ŁÓDŹ, POLSKA  
\*MAILTO: BURNAT@OP.PL

### Streszczenie

Zbadano wpływ temperatury wygrzewania warstw  $TiO_2$  uzyskanych metodą zol-żel na właściwości korozyjne bezniklowego stopu biomedycznego Panacea P558. Próbkę stopu z naniesioną warstwą  $TiO_2$  jak też próbki bez tych warstw były poddane wygrzewaniu w temperaturach  $450^\circ C$  i  $800^\circ C$ . Badania korozyjne wykonano w odtlenionym roztworze Tyrode'a w temperaturze ciała ludzkiego  $37^\circ C$  (310 K). Stwierdzono polepszenie właściwości korozyjnych stopu przez warstwy wygrzane w temperaturze  $450^\circ C$ . Stwierdzono również, że wygrzanie tego stopu w temperaturze  $800^\circ C$  powoduje dużą niestabilność jego właściwości korozyjnych - po pewnym czasie ekspozycji w roztworze korozyjnym próbki bez warstw jak i z warstwami  $TiO_2$  skokowo zmieniają swoje właściwości i charakteryzują się gorszymi parametrami korozyjnymi niż wyjściowy stop. Przyczyną pogorszenia właściwości korozyjnych stopu Panacea P558 w temperaturze

## THE INFLUENCE OF HEATING TEMPERATURE OF $TiO_2$ SOL-GEL LAYERS ON CORROSION PROPERTIES OF PANACEA P558 BIOMEDICAL ALLOY

BARBARA BURNAT\* TADEUSZ BŁASZCZYK HENRYK SCHOLL

UNIVERSITY OF LODZ, FACULTY OF CHEMISTRY,  
DEPARTMENT OF GENERAL AND INORGANIC CHEMISTRY,  
68 NARUTOWICZA STR., 90-136 LODZ, POLAND  
\*MAILTO: BURNAT@OP.PL

### Abstract

The influence of heating temperature of  $TiO_2$  sol-gel layers on corrosion properties of nickel-free Panacea P558 biomedical alloy was investigated. The samples of alloy both with  $TiO_2$  sol-gel layers and without these layers were heated at temperature of  $450^\circ C$  and  $800^\circ C$ . The investigations were carried out in deoxygenated Tyrode's solution at human body temperature of  $37^\circ C$  (310 K). It was found that the layers heated at  $450^\circ C$  improve corrosion features of this alloy. It was also stated that heat treatment of this alloy at  $800^\circ C$  results in high instability of its corrosion features - after some exposition time in corrosion solution samples both without and with  $TiO_2$  layers rapidly change their properties and these samples have worse corrosion parameters than initial alloy (without any surface modification). The reason for these worse corrosion features of Panacea P558 alloy heated at  $800^\circ C$  may be: (1) changes of its microstructure (segregation of