PRACE

Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych

Scientific Works
of Institute of Ceramics and Building Materials

Nr 23
(październik–grudzień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok VIII **Warszawa–Opole 2015**

Prace ICiMB
2015 nr 23: 28–38

ZBIGNIEW JAEGERMANN[*]
SŁAWOMIR MICHAŁOWSKI[**]
LIDIA CIOŁEK[***]
ZDZISŁAW WIŚNIEWSKI[****]

Biomateriały implantacyjne dotowane srebrem – próby wstępne

Część 2 – Materiały kalcytowe

Słowa kluczowe: biomateriały, węglan wapnia, kalcyt, bakteriobójczość, nanosrebro.

Niniejszy artykuł jest kontynuacją opisu badań biomateriałów dotowanych srebrem, który został zamieszczony w poprzednim (22) numerze „Prac Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych". Głównym celem prac badawczych było opracowanie wstępnych założeń otrzymywania wszczepialnych materiałów kalcytowych wykazujących działanie przeciwbakteryjne. Do przygotowania materiałów kalcytowych wykorzystano tworzywo ceramiczne na bazie węglanu wapnia, a jako źródła nanosrebra użyto dwóch rodzajów bioszkieł ze srebrem, opracowanych w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych. Do badań przygotowano 8 próbek tworzyw kalcytowych zawierających różne ilości bioszkieł. Oznaczono ich gęstość pozorną, porowatość całkowitą i wytrzymałość na ściskanie. Wykonano badania mikrostruktury przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego oraz badania działania przeciwbakteryjnego z wykorzystaniem bakterii *Pseudomonas aeruginosa* oraz *Staphylococcus aureus*. Przeprowadzone badania pokazały, że zarówno ilość, jak i rodzaj dodawanego bioszkła mają wpływ na właściwości fizyczne materiałów. Obserwacje mikrostruktury materiałów zawierających bioszkła wykazały, że ziarna bioszkieł w temperaturze spiekania materiału kalcytowego (510^{o}C) nie łączą się z ziarnami kalcytowymi. Zjawisko to może być jedną z przyczyn obniżania wytrzymałości na ściskanie ze wzrostem zawartości bioszkła w materiale. Wyniki badania bakteriobójczości wskazały na zdecydowane obniżenie ilości bakterii dla obu materiałów kalcytowych w stosunku do hodowli kontrolnej w każdym okresie inkubacji. Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowana metoda dotowania materiałów kalcytowych srebrem pozwala na otrzymanie materiałów wykazujących działanie przeciwbakteryjne.

[*] Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, z.jaegermann@icimb.pl
[**] Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie
[***] Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, l.ciolek@icimb.pl
[****] Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, z.wisniewski@icimb.pl

1. Wprowadzenie

Niniejszy artykuł jest kontynuacją opisu prac badawczych biomateriałów implantacyjnych dotowanych srebrem, który został zamieszczony w poprzednim (22) numerze „Prac Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych" [1]. Jak to zostało szerzej opisane w części pierwszej artykułu, zakażenia kości cały czas są poważnym problemem rozległych zabiegów chirurgicznych, zwłaszcza ortopedycznych. Jednym ze stosowanych obecnie sposobów leczenia jest bezpośrednie wprowadzanie w miejsce powstałego zakażenia materiałów, które mają zdolność wydzielania środków przeciwbakteryjnych. Chodzi o osiągnięcie wysokiego miejscowego stężenia np. antybiotyków w kości w długim czasie, aby uzyskać wysoką skuteczność terapeutyczną lub profilaktyczną.

Wiele ośrodków inżynierii biomateriałów pracuje nad opracowaniem nowych nośników środków bakteriobójczych do leczenia miejscowych stanów zapalnych kości. Jednym z takich materiałów jest siarczan wapnia (gips) – szybko resorbowalny, niedrogi materiał, który z powodzeniem jest stosowany jako materiał do wypełniania ubytków kości już od wielu lat [2–3]. Inną grupą badanych materiałów do zastosowania jako nośniki leków są resorbowalne fosforany wapnia (np. hydroksyapatyt, fosforan trójwapniowy TCP) zarówno w postaci porowatych wszczepów, jak i cementu [4–7]. Badania prowadzono również z ceramicznymi materiałami bioaktywnymi, takimi jak: szkła bioaktywne czy biotworzywa szklanoceramiczne [8–9]. W ostatnich latach dużego znaczenia nabrały nośniki z biopolimerów organicznych, które oparte są głównie na kwasie mlekowym i glikolowym [10–11], a także na polikaprolaktonie [12] czy kopolimerach hydroksymaślanu i hydroksywalerianu [13–14] oraz na materiałach kolagenowych [15].

W Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych już od kilkunastu lat prowadzone są prace badawcze nad biomateriałami o działaniu bakteriobójczym. Ich celem jest wytworzenie nowych implantów, łączących biozgodność, dobre właściwości mechaniczne i wysoką skuteczność przeciwbakteryjną. W początkowym okresie prowadzone były wyłącznie badania w kierunku otrzymania ceramicznych nośników antybiotyków opartych na porowatych implantach korundowych i cemencie apatytowym [16–18]. W ciągu ostatnich kilku lat rozszerzono te prace o badania nad otrzymywaniem bakteriobójczych bioszkieł domieszkowanych srebrem, wytwarzanych metodą zol-żel [19–22].

Jedynym, jak dotąd, materiałem opartym na węglanie wapnia, stosowanym komercyjnie do wypełniania ubytków tkanki kostnej były aragonitowe szkielety koralowców madreporowych, które po odpowiedniej preparacji nabywały cech biozgodnego, resorbowalnego materiału wszczepialnego [23–24]. Zainspirowani występującymi w przyrodzie formami węglanu wapnia niektórzy badacze próbowali uzyskać syntetyczne materiały kalcytowe głównie do zastosowań technicznych [25–27]. Podobne prace prowadzone były w Instytucie Ceramiki

i Materiałów Budowlanych, lecz ich celem było opracowanie syntetycznego biomateriału opartego na węglanie wapnia do zastosowań medycznych. W wyniku prowadzonych badań otrzymano materiały aragonitowe i kalcytowe, które spełniają wymagania biomateriałów wszczepialnych [28–31].

Głównym celem prac badawczych, których wyniki podsumowuje niniejsza część artykułu, było opracowanie wstępnych założeń otrzymywania wszczepialnych materiałów kalcytowych wykazujących działanie przeciwbakteryjne. Istotą zadania było dobranie sposobu dotowania materiałów kalcytowych metalicznym nanosrebrem oraz przeprowadzenie badań ich skuteczności bakteriobójczej.

2. Materiały i metody

Do przygotowania materiałów kalcytowych użyto tworzywa ceramicznego na bazie węglanu wapnia (kalcytu) dotowanego 1% wag. fluorku litu (LiF) [32]. Jako źródła cząstek nanosrebra w materiałach kalcytowych użyto dwóch rodzajów bioszkieł opracowanych w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych (tab. 1). Sposób ich przygotowania został szczegółowo opisany w [19, 33].

Tabela 1

Składy bioszkieł ze srebrem

Symbol bioszkła	Udział tlenku w % wag.			
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Ag_2O
Z8	89	7,5	–	3,5
P0-Ag	70	–	29	1

Źródło: Opracowanie własne.

Próbki badawcze przygotowano przez zmieszanie „na mokro” tworzywa kalcytowego z odpowiednimi ilościami bioszkieł ze srebrem w młynku obrotowo-wibracyjnym (tab. 2), wysuszeniu, zgranulowaniu i wyprasowaniu na prasie osiowej próbek walcowych o średnicy i wysokości ok. 8 mm, a następnie wypaleniu w piecu elektrycznym w temperaturze 510°C. Do badań działania przeciwbakteryjnego przygotowano dwa rodzaje próbek kalcytowych (K-P0 Ag-6 i K-Z8-6) o średnicy 8 mm i wysokości 4 mm.

Tabela 2

Składy materiałów kalcytowych zawierających bioszkła

Symbol próbki	Symbol bioszkła	Zawartość bioszkła [%]
K-P0 Ag-1	P0-Ag	1
K-P0 Ag-3	P0-Ag	3
K-P0 Ag-6	P0-Ag	6
K-P0 Ag-10	P0-Ag	10
K-Z8-1	Z-8	1

cd. tab. 2

Symbol próbki	Symbol bioszkła	Zawartość bioszkła [%]
K-Z8-3	Z-8	3
K-Z8-6	Z-8	6
K-Z8-10	Z-8	10

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Gęstość pozorną materiałów oznaczano metodą geometryczną polegającą na zmierzeniu i obliczeniu objętości próbki oraz na dokładnym jej zważeniu. Porowatość całkowitą materiałów kalcytowych obliczono na podstawie znajomości gęstości pozornej i gęstości teoretycznej kalcytu.

Parametry wytrzymałościowe określono z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej, o maksymalnym obciążeniu 10 kN i szybkości posuwu głowicy 0,7 mm/min. Wartości wytrzymałości na ściskanie obliczane były przez program do rejestracji wyników, na podstawie wprowadzonych wymiarów próbek i zmierzonego obciążenia maksymalnego; jako wynik przyjęto średnią wartość dla 6 próbek badawczych.

Badania mikrostruktury przełamów próbek materiałów wykonano przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego z emisją polową. Przed badaniem próbki pokryto warstwą złota (25 nm, metodą rozpylania jonowego). Obrazowanie elektronami wtórnymi SE wykonano w warunkach wysokiej próżni z zastosowaniem detektora ETD.

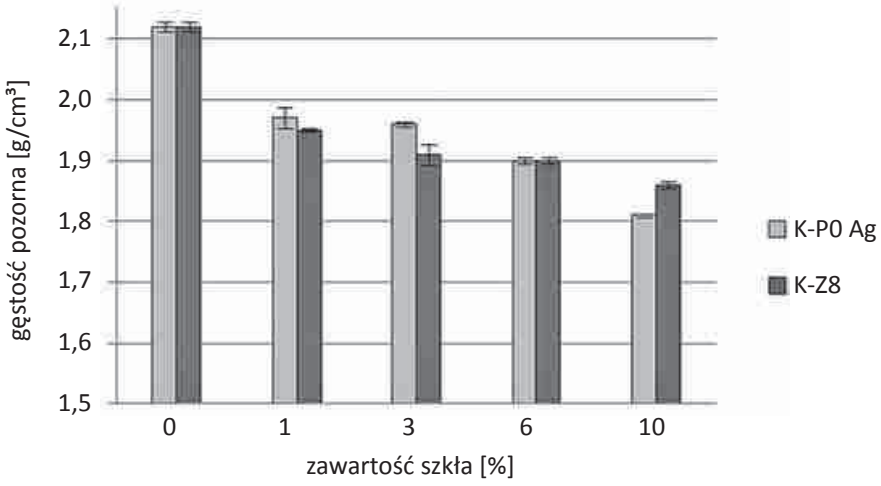
Do identyfikacji ziaren szkła w materiale wykorzystano analizę EDS rozkładu pierwiastków (Ca i Si) na powierzchni próbek mikroskopowych, tzw. mapowanie.

Badania działania przeciwbakteryjnego wykonano w Zakładzie Immunologii Chorób Zakaźnych Instytutu Immunologii i Terapii Doświadczalnej PAN we Wrocławiu. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem bakterii: *Pseudomonas aeruginosa* oraz *Staphylococcus aureus*. Szczegółowy opis metody badania zamieszczono w pracy [1].

3. Omówienie wyników badań

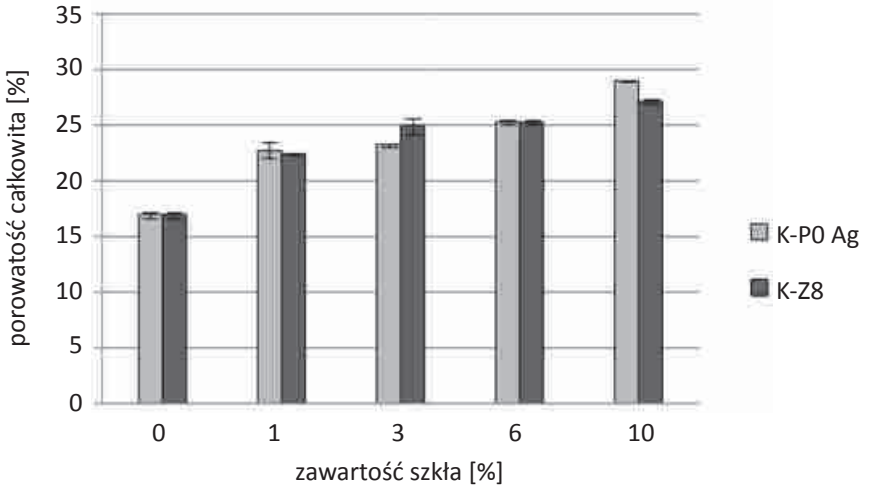
Do badań przygotowano mikroporowaty materiał kalcytowy o porowatości całkowitej ok. 17%, co wydaje się wartością wysoką jak na materiał ceramiczny. W tym wypadku ważna była jednak powierzchnia oddziaływania nanocząstek srebra, a ta w przypadku materiału o wyższej porowatości jest znacznie większa. Spodziewano się również, że dodatek proszku szkła podniesie jeszcze porowatość materiału. Przeprowadzone badania potwierdziły tę hipotezę, a także to, że wraz ze wzrostem zawartości szkła w materiale kalcytowym maleje gęstość

pozorna i wytrzymałość na ściskanie, a rośnie porowatość całkowita (ryc. 1–3). Analiza wyników wskazuje też, że większy wpływ na właściwości fizyczne materiałów ma dodatek szkła o symbolu P0 Ag niż szkła Z8. Szczególnie wyraźnie jest to widoczne w przypadku wytrzymałości materiałów zawierających 10% bioszkła (ryc. 3). Wartość wytrzymałości materiału K-Z8-10, zawierającego szkło Z8 jest blisko dwukrotnie wyższa od materiału K-P0 Ag-10, zawierającego szkło P0 Ag.



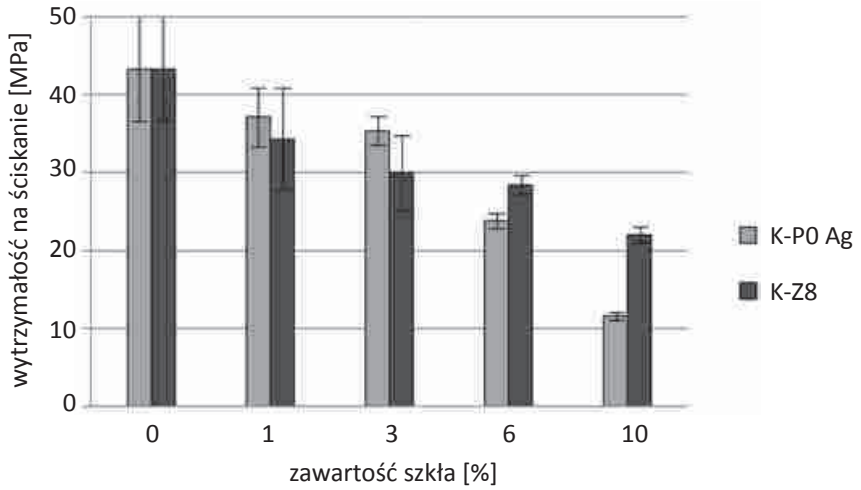
Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Wyniki badania gęstości pozornej materiałów kalcytowych i materiałów kalcytowych zawierających bioszkła ze srebrem (wartości średnie z odchyleniem standardowym)



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

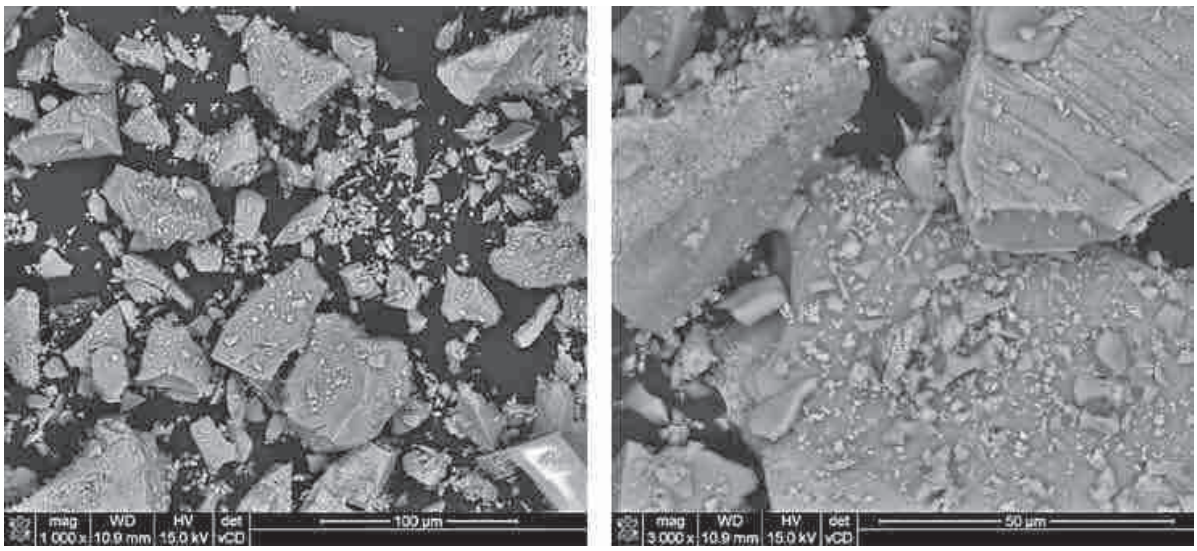
Ryc. 2. Wyniki badania porowatości całkowitej materiałów kalcytowych i materiałów kalcytowych zawierających bioszkła ze srebrem (wartości średnie z odchyleniem standardowym)



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 3. Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie materiałów kalcytowych i materiałów kalcytowych zawierających bioszkła ze srebrem (wartości średnie z odchyleniem standardowym)

Obserwacje mikrostruktury prowadzono głównie pod kątem oceny stopnia integracji ziaren bioszkieł z matrycą kalcytową. Ziarna bioszkieł w materiałach rozpoznawano w dwojaki sposób: porównując mikrostrukturę materiału z morfologią ziaren proszku bioszkieł (ryc. 4) oraz na podstawie analizy EDS rozkładu pierwiastków na powierzchni próbek mikroskopowych (rozkład Ca i Si). Analizując obrazy morfologii ziaren bioszkieł, np. P0 Ag (ryc. 4), można wyróżnić w proszku ziarna różnej wielkości, od dużych (50–100 μm) do bardzo drobnych ziaren kilkumikronowych. Pokrój wszystkich ziaren jest ostrokrawędzisty. Cechą charakterystyczną wielu ziaren jest porowata warstwa powierzchniowa, wyraźnie widoczna na rycinie 4 b.



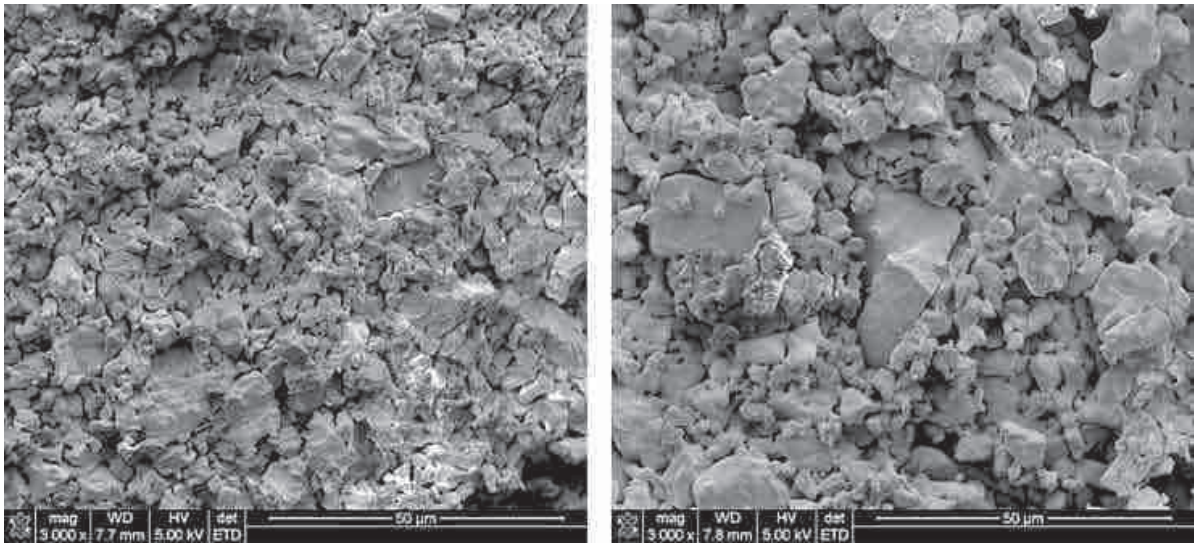
a) b)

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Obraz morfologii proszku bioszkła P0 Ag (SEM, 1000 x)

Obraz mikrostruktury materiału kalcytowego bez dodatku bioszkieł przedstawia materiał o obłych, niecałkowicie spieczonych ziarnach różnej wielkości tworzących strukturę porowatą (ryc. 5 a). W centralnej części obrazu na rycinie 5 b zidentyfikowano ostrokrawędziste ziarno bioszkła z charakterystyczną warstwą powierzchniową, które wydaje się być słabo zintegrowane z ziarnami kalcytu. Szczegółowe obserwacje innych materiałów zawierających bioszkła potwierdziły, że ziarna bioszkieł w temperaturze spiekania materiału kalcytowego (510°C) nie łączą się z ziarnami kalcytowymi. To zjawisko może być jedną z przyczyn obniżania wytrzymałości na ściskanie ze wzrostem zawartości bioszkła w materiale (ryc. 3).

Chociaż mikrostrukturę materiału prześledzono jedynie na przykładzie bioszkła P0 Ag, to podobne zjawisko zaobserwowano również dla bioszkła Z8.

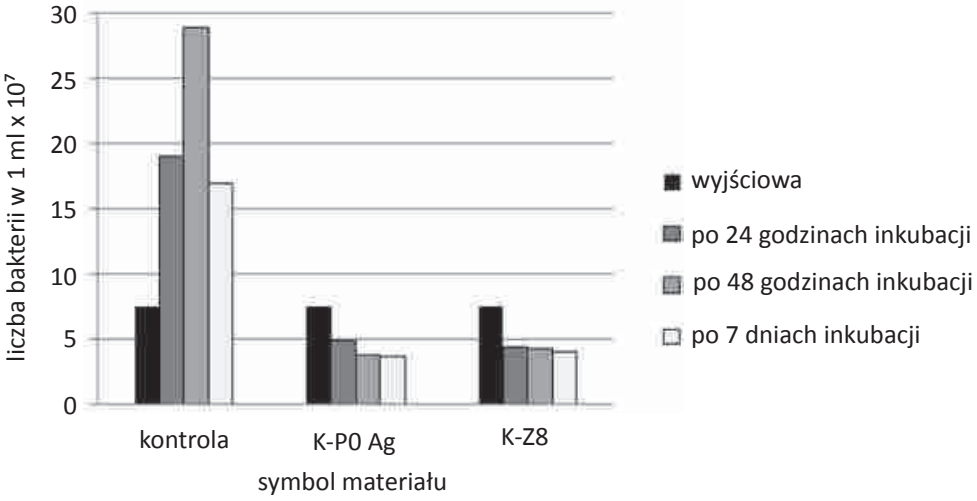


a) b)

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

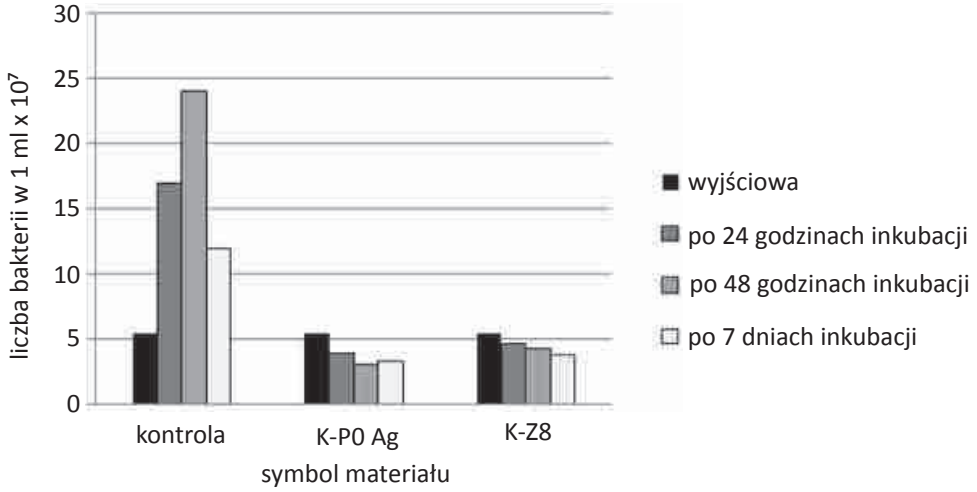
Ryc. 5. Przykładowe obrazy mikrostruktury materiałów kalcytowych:
a) materiał bez dodatku bioszkła, b) materiał z dodatkiem 1% bioszkła P0 Ag
(SEM, przełam, 3000 x)

Wyniki badania bakteriobójczości wykazały zdecydowane obniżenie ilości bakterii dla obu mikroorganizmów i obu materiałów kalcytowych w stosunku do hodowli kontrolnej w każdym okresie inkubacji (ryc. 6–7). Jednakże skuteczność hamowania rozwoju bakterii zależy zarówno od rodzaju mikroorganizmu, jak i rodzaju zastosowanego bioszkła. Nieznacznie lepsze działanie wykazuje materiał dotowany bioszkłem P0 Ag w stosunku do dotowanego bioszkłem Z8, co nie może być związane z zawartością srebra w bioszkle, gdyż to szkło Z8 zawiera 3,5 razy więcej srebra niż szkło P0 Ag (tab. 1). Wyjaśnienie tego zjawiska wymagać będzie dodatkowych, bardziej szczegółowych badań.



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 6. Wyniki badania działania przeciwbakteryjnego na pałeczki Gram-ujemne *Pseudomonas aeruginosa* materiałów kalcytowych zawierających bioszkła ze srebrem (doświadczenie reprezentatywne)



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 7. Wyniki badania działania przeciwbakteryjnego na gronkowca *Staphylococcus aureus* materiałów kalcytowych zawierających bioszkła ze srebrem (doświadczenie reprezentatywne)

4. Podsumowanie

Ponieważ prowadzone badania miały charakter wstępny, prezentowane wnioski są ogólne i muszą zostać zweryfikowane w toku dalszych, szczegółowych analiz. Wyniki powyższych badań wykazały, że zastosowana metoda dotowania materiałów kalcytowych srebrem pozwala na otrzymanie materiałów wykazujących działanie przeciwbakteryjne w stosunku do pałeczki Gram-ujemnej *Pseudomonas aeruginosa* oraz gronkowca *Staphylococcus aureus*. Wymaga jednak udoskona-

lenia i optymalizacji, szczególnie w zakresie przygotowania proszków szkieł ze srebrem i właściwości fizycznych materiałów, a także wyjaśnienia skuteczności działania bakteriobójczego. Waga problemu zachęca do dalszych wysiłków badawczych i poszukiwania skutecznych rozwiązań materiałowych pomocnych w leczenia stanów zapalnych kości*.

Literatura

[1] Jaegermann Z., Michałowski S., Ciołek L., Wiśniewski Z., *Biomateriały implantacyjne dotowane srebrem – próby wstępne*. Część 1 – *Materiały gipsowe*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych" 2015, nr 22, s. 23–33.

[2] Mousset B. et al., *Biodegradable implants for potential use in bone infection*, „International Orthopaedics (SICOT)" 1995, Vol. 19, s. 157–161.

[3] Dacquet V. et al., *Antibiotic-impregnated plaster of paris beads – trials with teicoplanin*, „Clinal Orthopaedics and Related Research" 1992, Vol. 282, s. 241–249.

[4] Landi E. et al., *Calcium phosphate ceramics as drug-delivery system for anticancer therapy*, „Bioceramics 13, Key Engineering Materials" 2001, Vol. 192/195, s. 901–904.

[5] Gautier H. et al., *Isostatic compresion, a new process for incorporating vancomycin into biphasic calcium phosphate: comparison with a classical method*, „Biomaterials" 2000, Vol. 21, s. 243–249.

[6] Yu D. et al., *Self-setting hydroxyapatite cement: A novel skeletal drug-delivery system for antibiotics*, „Journal of Pharmaceutical Sciences" 1992, Vol. 81, No. 6, s. 529–536.

[7] Solberg B.D. et al., *Efficacy of gentamycin-impregnated resorbable hydoxyapatite cement in treating osteomyelitis in a rat model*, „Journal of Orthopaedic Trauma" 1999, Vol. 13, No. 2, s. 102–106.

[8] Ślósarczyk A. et al., *The pentoxifilline release from drug-loaded hydroxyapatite implants*, „Biomaterials" 2000, Vol. 21, s. 1215–1221.

[9] Kawanabe K. et al., *Treatment of osteomyelitis with antibiotic-soaked porous glass ceramic*, „Journal of Bone and Joint Surgeryn" 1998, Vol. 80-B, No. 3, s. 527–530.

[10] Kanellakopoulou K. et al., *Lactic acid polymers as biodegradable carriers of fluoroquinolones: An in vitro study*, „Antimicrobial Agents Chemotherapy" 1999, Vol. 43, s. 714–716.

[11] Liu S.J. et al., *In vitro elution of vancomycin from biodegradable beads*, „Journal of Biomedical Materials Research" 1999, Vol. 48, No. 5, s. 613–620.

[12] Burd T.A. et al., *In vitro elution of tobramycin from bioabsorbable polycaprolactone beads*, „Journal of Orthopaedic Trauma" 2001, Vol. 15, No. 6, s. 424–428.

[13] Yagmurlu M.F. et al., *Sulbactam-cefoperazone polyhydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate (PHBV) local antibiotic delivery system: In vivo effectiveness and biocompatibility in the treatment of implant-related experimental osteomyelitis*, „Journal of Biomedical Materials Research" 1999, Vol. 46, No. 4, s. 494–503.

* Praca została sfinansowana ze środków na działalność statutową Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych.

[14] K o r k u s u z F. et al., *In vivo response to biodegradable controlled antibiotic release system*, „Journal of Biomedical Materials Research" 2001, Vol. 55, s. 217–228.

[15] S t e m b e r g e r A. et al., *Local treatment of bone and soft tissue infections with the collagen-gentamycin sponge*, „European of Journal Surgery" 1997, Vol. 163, Supl. 578, s. 17–26.

[16] P o l e s i ń s k i Z., K a r a ś J., J a e g e r m a n n Z., *Ceramiczne wszczepy antybakteryjne*, „Szkło i Ceramika" 2003, nr 1, s. 2–9.

[17] L e w a n d o w s k i R., G r z y b o w s k i J., K a r a ś J., J a e g e r m a n n Z., P o l e s i ń s k i Z., *Kinetyka uwalniania antybiotyków z implantów ceramicznych*, „Polimery w Medycynie" 2003, nr 3, s. 3–11.

[18] P a l u c h D., P i e l k a S., S o l s k i L., K a r a ś J., J a e g e r m a n n Z., M i c h a ł o w s k i S., *Badania działania cytotoksycznego porowatych implantów korundowych z dodatkiem antybiotyku*, „Inżynieria Biomateriałów" 2004, nr 37, s. 39–41.

[19] C i o ł e k L., K a r a ś J., *Badania właściwości fizykochemicznych bioszkieł domieszkowanych srebrem wytwarzanych metodą zol-żel*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych" 2009, nr 3, s. 13–25.

[20] C i o ł e k L., K a r a ś J., *Badania właściwości fizykochemicznych i biologicznych in vitro bioszkieł ze srebrem wytworzonych metodą zol-żel*, „Szkło i Ceramika" 2010, nr 1, s. 2–6.

[21] C i o ł e k L., S z a m a ł e k K., K a r a ś J., *In vitro Studies of Antibacterial Activity of Bioglasses Relasing* Ag^{+2}, „Key Engineering Materials" 2012, Vol. 23, No. 493/494, s. 108–113.

[22] C i o ł e k L., K a r a ś J., O l s z y n a A., *Badania bioaktywności i cytotoksyczności in vitro bioszkieł z układu* SiO_2*-CaO wytworzonych metodą zol-żel z zastosowaniem silanów*, „Engineering of Biomaterials" 2013, Vol. 119, s. 21–26.

[23] G u i l l e m i n et al., *The use of coral as a bone graft substitute*, „Journal of Biomedical Materials Research" 1987, Vol. 21, s. 557–567.

[24] O g h u s h i et al., *Bone formation process in porous calcium carbonate and hydroxyapatite*, „Journal of Biomedical Materials Research" 1992, Vol. 26, s. 885–895.

[25] U r a b e K. et al., *Effect of additives on the pressureless sintering of calcite*, „Journal of the Ceramic Society Japan" 1995, Vol. 103, s. 1097–1098.

[26] T e t e r d F. et al., *Sintering of* Li_2CO_3 *– doped* $CaCO_3$, „Ceramic Transactions" 1995, Vol. 51, s. 561–565.

[27] Z h o u G.T., Z h e n g Y.F., *Synthesis of aragonite-type calcium carbonate by over growth technique at atmospheric pressure*, „Journal of Materials Science Leters" 1998, Vol. 17, s. 905–908.

[28] C h r ó ś c i c k a A., W o ź n i a k P., O l k o w s k i R., L e w a n d o w s k a - S z u m i e ł M., M i c h a ł o w s k i S., J a e g e r m a n n Z., K a r a ś J., *Human fibroblasts and osteoblasts in contact with calcium carbonates*, „Engineering of Biomaterials" 2004, Vol. 38/42, s. 39–41.

[29] M i c h a ł o w s k i S., J a e g e r m a n n Z., K a r a ś J., *Properties of calcite materials for cell culture scaffolds*, „Engineering of Biomaterials" 2004, Vol. 38/42, s. 94–96.

[30] C h r ó ś c i c k a A., J a e g e r m a n n Z., W ó j t o w i c z J., R a t a j s k a A., S a d ł o J., W y c h o w a ń s k i P., H o s e r G., M i c h a ł o w s k i S., P r z y b y l s k i J., L e w a n d o w s k a - S z u m i e ł M., *Promising calcite-based tissue engineered product for bone*, „Tissue Engineering Part A" 2008, Vol. 14, s. 900.

[31] Cieślik M., Adwent M., Skowronek J., Orlicki R., Jaegermann Z., Duda M., Sabat D., Cieślik T., *Healing of the bone defect filled with calcium carbonate – experimental studies*, „Polish Journal of Environmental Studies" 2009, Vol. 18, No. 6A, s. 80–83.

[32] Michałowski S., Jaegermann Z., Karaś J., *The influence of chemical composition and sintering parameters on the properties of calcite materials*, „Engineering of Biomaterials" 2005, Vol. 47/53, s. 28–30.

[33] Ciołek L., Karaś J., Olszyna A., Traczyk S., *New silver-containing bioglasses*, „Engineering of Biomaterials" 2008, Vol. 77/80, s. 25–27.

ZBIGNIEW JAEGERMANN
SŁAWOMIR MICHAŁOWSKI
LIDIA CIOŁEK
ZDZISŁAW WIŚNIEWSKI

SILVER CONTAINING BIOMATERIALS – PRELIMINARY STUDIES
PART 2 – CALCITE IMPLANTS

Keywords: biomaterials, calcite implants, antimicrobial activity, nanosilver.

The article is the continuation of description of research on silver containing biomaterials, published in the previous issue of „Prace ICiMB". The main objective of the research was to develop initial assumptions on the production of calcite implants showing antibacterial activity.
Ceramic material based on calcium carbonate, as well as two types of silver containing bioglasses developed in ICiMB were used in the preparation of calcite materials. Eight test calcite samples containing different amounts of bioglasses were prepared. Apparent density, total porosity and compressive strength were determined. Analysis of materials microstructure using scanning electron microscopy and study of antimicrobial activity using *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* bacteria were performed.
The studies showed that both the content and type of bioglass affect the physical properties of the materials. Microscopic observations showed that grains of bioglass do not sinter in the temperature of 510°C, that corresponds to the sintering temperature of calcite material. This phenomenon can be one of the reasons that compressive strength decreases with the increase of the content of bioglass in the material.
Analysis of bactericidal effect showed a significant reduction of the bacteria count for both calcite materials in comparison to the control culture, at all periods of incubation. The results of the study have shown that the method of silver doping of calcite materials allows to obtain implants with antibacterial activity.