

Jan Ryszard Dąbrowski<sup>1</sup>, Jarosław Sidun<sup>3</sup>, Szczepan Piszczatowski<sup>4</sup>

Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, ul. Wiejska 45c, 15-351 Białystok

Jacek Sterna<sup>2</sup>

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Katedra Chirurgii Zwierząt, ul. Nowoursynowska 166, Warszawa

## POROWATE KOMPOZYTY CERAMICZNO-METALICZNE NA BAZIE STOPU Co-Cr-Mo - POTENCJALNE BIOMATERIAŁY NA IMPLANTY KOSTNE

Przedstawiono wyniki badań wstępnych mocowania biomechanicznego w kości implantów kompozytowych na bazie proszku Co-Cr-Mo, wykonanych w trzech wariantach: ze stopu litego, spieku z proszku oraz spieku z proszku z 10% dodatkiem Bioszklą S-2. Badania przeprowadzono na trzech kastrowanych kozłach mieszańcach w wieku około jednego roku, pochodzących z tego samego stada. Implantami uzupełniono ubytki trzonu kości piszczelowej. Badania RTG wykonane po dwóch tygodniach od zespolenia wskazują na obecność kostniny, pojawiającą się wokół implantów. Dalsze badania mechaniczne i mikroskopowe pozwoliły na ocenę jakości połączenia wszczepu z kością.

### CERAMIC-METALLIC POROUS COMPOSITES BASED ON Co-Cr-Mo ALLOY - POTENTIAL MATERIAL FOR IMPLANTS

The paper presents research relating osteointegration of porous implants made from Co-Cr-Mo, executed in three variants: from solid alloy, porous Co-Cr-Mo sintered compact and porous composite with 10% addition of bioactive-glass type S-2. The research has been made on three castrated goats in age of about one year, from this oneself herds. Decrease of shaft of tibia bone has been supplemented by implants. RTG research has been executed after two weeks from junctions showed bone callus appearing all around implants. The postmortem mechanical and microscopic investigations has permitted for estimation of quality of connection implants with bone.

### WSTĘP

Rozwój implantów na potrzeby chirurgii kostnej w dużym stopniu zależy od postępów w zakresie inżynierii biomateriałów. Chodzi przy tym o wytworzenie biomateriałów lepiej spełniających wymagania biofunkcjonalności, m.in. wytrzymałości mechanicznej, odporności korozyjnej, biogodności [1-3]. Pomimo wzrastających wymagań i potrzeb w tym zakresie rynek krajowych materiałów dla chirurgii kostnej jest ubogi. Oprócz niewątpliwych sukcesów w rozwoju materiałów ceramicznych [4, 5] i kompozytowych [6], brak jest szerszej oferty rodzimych implantów metalicznych, szczególnie przydatnych dla ortopedii i chirurgii (np. endoprotezy stawów, ubytki kości) oraz stomatologii (uzupełnienia protetyczne).

Stop Co-Cr-Mo, znany szerzej pod nazwą Vitalium, jest jednym ze standardowych metalicznych materiałów implantacyjnych, znanym i stosowanym w praktyce od dziesięcioleci. Interesującą alternatywę dla odlewów i stopów do przeróbki plastycznej stwarza tu technika

metalurgii proszków [8, 9]. Pozwala ona wyeliminować szereg wad typowych dla odlewniczych i przerabianych plastycznie implantów metalicznych, m.in. ograniczyć mikrosegregację oraz zmniejszyć ilość bądź zwiększyć dyspersję wydzieleni obcych faz (głównie węglików). Dobór odpowiednich klas ziarnowych proszku pozwala na zwiększenie drobnoziarnistości struktury, korzystnej z punktu widzenia właściwości mechanicznych takich materiałów [1, 2].

W Katedrze Materiałoznawstwa Politechniki Białostockiej są prowadzone badania materiałów spiekanych na bazie proszku stopu Co-Cr-Mo. Zastosowana technologia pozwala na otrzymywanie materiałów kompozytowych z różnymi dodatkami funkcjonalnymi, m.in. tribologicznymi, biologicznie aktywnymi, lekami.

W niniejszej pracy są prezentowane wyniki badań fizykochemicznych i biologicznych materiałów kompozytowych na bazie stopu Co-Cr-Mo z wypełniaczem bioaktywnym.

<sup>1</sup> dr hab. inż., <sup>2</sup> dr inż., <sup>3</sup> mgr inż., <sup>4</sup> dr med.

## MATERIAŁ I METODY

### Material

Z proszków stopu Co-Cr-Mo i wypełniacza z dodatkami ceramicznymi otrzymano porowate spieki w zabiegach: prasowania, spiekania, doprasowania, obróbki cieplnej. Z otrzymanych materiałów wykonano próbki (implanty) do badań biologicznych. Miały one kształt walców o średnicy 10 mm, z podtoczeniami na powierzchniach czołowych na głębokości 2 mm o średnicy 6 mm w celu zakotwiczenia w jamie szpikowej. W osi wszczepu wykonano otwór o średnicy 3 mm, zaś na tworzącej walca wykonano żłobienia (rys. 1).



Rys. 1. Wszczepy wprowadzane w celu uzupełnienia ubytku kości

Fig. 1. Implants for bone tissue joint

Implanty wykonano w trzech wariantach:

- litego stopu Co-Cr-Mo (z trzpienia komercyjnej endoprotezy stawu biodrowego typu Wellera),
- spieku z proszku Co-Cr-Mo,
- spieku z proszku Co-Cr-Mo, z zawartością 10% masy bioszklą S-2 [10].

### Metody

Badania przeprowadzono na 3 kastrowanych kozłach mieszańcach w wieku około jednego roku, pochodzących z tego samego stada. Zwierzęta zostały przed doświadczeniem odrobaczone. Wykonane następnie badanie kliniczne nie wykazało żadnych objawów chorobowych.

W dalszej części badań przeprowadzono ocenę właściwości mechanicznych kostniny oraz zdolności przyrastania tkanki kostnej do powierzchni wprowadzonych wszczepów. Badania przeprowadzono na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej INSTRON typ TM-SM. Do badań mechanicznych z wypreparowanej kości wycięto kostninę z implantem, a następnie przygotowano do badania adhezji implantu z kością. Adhezję badano, rejestrując siłę wypychania implantu z kości.

Równoległe z badaniami mechanicznymi prowadzono badania mikroskopowe struktury powstającej kostniny na skaningowym mikroskopie elektronowym HITACHI 3000N, wyposażonym w stolik wymrożeńowy do preparatów biologicznych oraz przystawkę do mikroanalizy „Vantage di”.

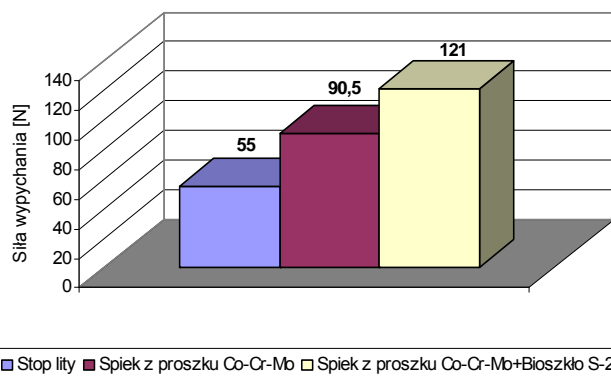
## WYNIKI I DYSKUSJA

Otrzymane spieki na implanty charakteryzowały się następującymi właściwościami:

- gęstość materiału litego:  $8,34 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,
- gęstość spieku Co-Cr-Mo:  $7,24 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,
- gęstość kompozytu z bioszklą:  $6,1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

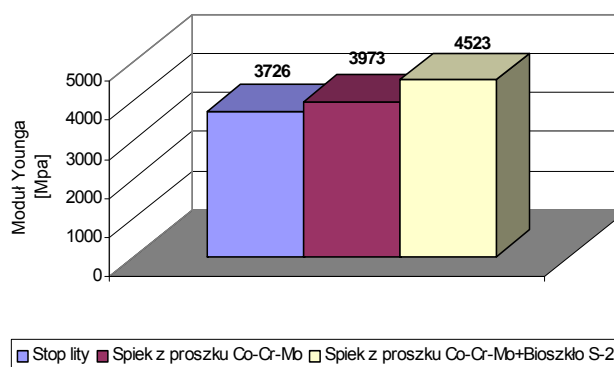
### Ocena mechaniczna

Przeprowadzone badania mechaniczne wypychania implantów z kości wykazały najlepszą adhezję implantów na bazie proszku Co-Cr-Mo z Bioszklą S-2. Siła potrzebna do wypchnięcia jest dwukrotnie większa niż dla implantu wykonanego ze stopu litego (rys. 2). Świadczy to o lepszym wrastaniu kości do powierzchni wszczepionego elementu. Nieregularna powierzchnia wszczepu zapewnia tu o wiele silniejsze połączenie biomechaniczne z otaczającą tkanką kostną - istnieje wtedy możliwość lepszego wrastania tkanki do wszczepu.



Rys. 2. Siły wypychania implantów z kości

Fig. 2. Push forces of implants receive from bone tissue samples

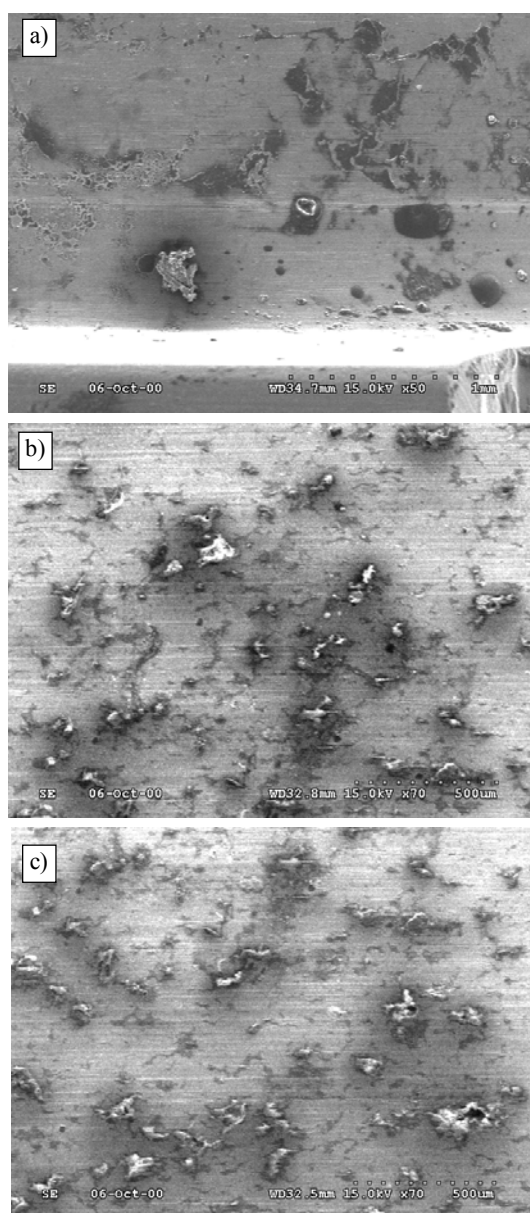


Rys. 3. Moduły Younga kostniny powstałej w trakcie gojenia

Fig. 3. Young's modulus of callus forming in healing bone tissue

Wyznaczone wartości modułów Younga z próby ściskania wskazują również na zmiany właściwości tkanki kostnej powstałej w trakcie gojenia złamania uzupełnionego implantem dokostnym. Uzyskane wyniki wskazują na lepsze właściwości tkanki w kontakcie implantu z bioszklą. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 3.

Prowadzone równoległe badania mikroskopowe kości oraz implantów wskazują na istotne różnice strukturalne badanych materiałów. Na rysunku 4 przedstawiono zdjęcia mikroskopowe powierzchni kontaktu implantów z kością. Obserwuje się na nich wyraźnie miejsca przyrastania kości. Najwięcej punktów przyrastania zaobserwowano na implancie wykonanym ze spieku proszku z dodatkiem Bioszklą S-2. Nieznacznie mniej obserwuje się na powierzchni spieku z czystego proszku, zaś najmniej na powierzchni implantu wykonanego ze stopu litego. Na powierzchniach czystych spieków obserwuje się dodatkowo oprócz drobnych cząstek kostniny również włóknisto-nabłonkowy przyczep wokół porów implantu.



Rys. 4. Powierzchnie kontaktu implantów z kością: a) ze stopu litego, b) spieku z czystego proszku, c) spieku z proszku z dodatkiem bioszklą S-2

Fig. 4. Implants surface contacted with bone tissue: a) solid alloy, b) porous Co-Cr-Mo sintered compact, c) porous Co-Cr-Mo composite with bioactive addition

Wyniki mikroanalizy chemicznej powierzchni implantów wskazują na zmiany ilościowe wapnia, sodu oraz magnezu, świadczące o powstawaniu tkanki kostnej na powierzchni implantu.

Dla kości w kontakcie ze stopem litym obserwuje się powierzchnię gładką, drobnoziarnistą. Miejsca kontaktu kości z powierzchnią wszczepu nie są zniekształcone, co świadczy o połączeniu adhezyjnym bez bezpośredniego wrastania tkanki kostnej w powierzchnię.

Powierzchnia dwóch pozostałych próbek jest nierówna i postrzępiona, wskutek zrywania punktów kontaktu kostniny z implantem podczas wypychania. Występował w tych przypadkach dobry kontakt powierzchni wszczepu z kością, zarówno adhezyjny, jak i na zasadzie wrastania kości w pory próbki.

### Ocena kliniczna

Wszystkie rany pooperacyjne wygoiły się przez rychłozrost. Zwierzęta po kilku dniach podjęły obciążanie kończyny, a po miesiącu poruszały się galopem. W żadnym przypadku nie obserwowano obfitego wysiękania z otworów na śrubowkręty ani pogorszenia obciążania kończyny w ciągu 3 miesięcy obserwacji.

Wokół wszczepów pojawiła się kostnina widoczna na zdjęciach RTG w przypadku wszczepu kompozytowego po dwóch tygodniach, a w pozostałych przypadkach po 4 tygodniach.

Sekcja wykazała poza zmianami w operowanym podudziu jedynie zmiany typowe dla eutanazji. Wokół śrubowkrętów u wszystkich kozłów skóra była sucha i czysta. Po odpreparowaniu tkanek miękkich widoczne były pewne różnice. Okostna wokół wszczepów 1 i 2 odchodziła łatwo od kości i kostniny, trudno było ją odpreparować z okolicy wszczepu 3-kompozytowego. Powierzchnia kostniny odsłoniętej po zdjęciu okostnej w przypadku wszczepów 1 i 2 wykazywała ślad po zrośnięciu się ze sobą kostniny.

### PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania, zarówno kliniczne, jak też techniczne, potwierdziły korzystny wpływ dodatku bioszklą na procesy kościotworzenia i mocowania implantów w kości. Wykonane badania mikroskopowe wskazują na zróżnicowane mechanizmy tworzenia połączenia tkanka kostna/implant. Uzyskanie większej ilości miejsc kościotworzenia w przypadku kompozytów z bioszklą może świadczyć o istotnej roli przemian biochemicznych na granicy faz. Występowanie bioszklą w obszarze gojenia spowodowało również uzyskanie lepszych właściwości mechanicznych nowo tworzącej się tkanki kostnej. Jednakże wyjaśnienie zaobserwowanego zjawiska wymaga dalszych badań. Pozwolą one też na

bardziej merytoryczne uogólnienia.

*Praca została wykonana w ramach projektu badawczego KBN 7T08D 03021.*

## LITERATURA

- [1] Cordey J., Biofunctionality and biomechanics of implant, (w:) Biomaterials-hard tissue repair and replacement, Elsevier Science Publ. 1992, 235-245.
- [2] Marciniak J., Biomateriały w chirurgii kostnej, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1992.
- [3] Będziński R., Biomechanika inżynierska, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1999.
- [4] Święcki Z., Bioceramika dla ortopedii, Wyd. IPPT PAN, Warszawa 1992.
- [5] Ślósarczyk A., Piekarczyk J., Ceramic materials on the basis of hydroxyapatite and tricalcium phosphate, Ceram Int. 1999, 25, 561-565.
- [6] Chłopek J., Błażewicz S., Pamuła E., Błażewicz M., Wajler C., Carbon and polymer composites in bone surgery, (w:) Materials for surgery, Band 2, EUROMAT'99, Verlag 1999.
- [7] Kramer K.H., Implants for surgery - a survey on metallic materials, (w:) Materials for surgery, Band 2, EURO-MAT'99, Verlag 1999.
- [8] Becker B.S., Bolton J.D., Youseffi M., Production of porous sintered Co-Cr-Mo alloys for possible surgical implants application, Powder Metalurgy 1995, 3, 201-208.
- [9] Dąbrowski J.R., Oksiuta Z., Porowaty materiał implantacyjny z proszku stopu Vitalium, Inżynieria Materiałowa 2000, 4, 174-179.
- [10] Łączka M. i in., Journal of Alloys and Compound 1997, 248, 42-51.

Recenzent  
Jan Leżański