

Daria KRAUZ¹, Anna ZIĘBOWICZ¹

Katedra Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych, Politechnika Śląska, Zabrze

OCENA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH ORAZ STRUKTURY ELEMENTÓW SYSTEMU IMPLANTOLOGICZNEGO

Streszczenie: W implantologii zdarzają się przypadki braku osteointegracji wszczepu śródkostnego z tkanką kostną. Celem przeprowadzonych badań była ocena własności mechanicznych oraz struktury elementów systemu implantologicznego - wydzielonego z tkanek żuchwy po sześciu miesiącach od jego wszczępienia. Dla celów pracy przeprowadzono analizę składu chemicznego SEM, pomiary ultra-nanotwardości i modułu Younga oraz obserwacje mikroskopowe struktury materiału.

Słowa kluczowe: system implantologiczny, EDS, moduł Younga, ultra-nanotwardość

1. WSTĘP

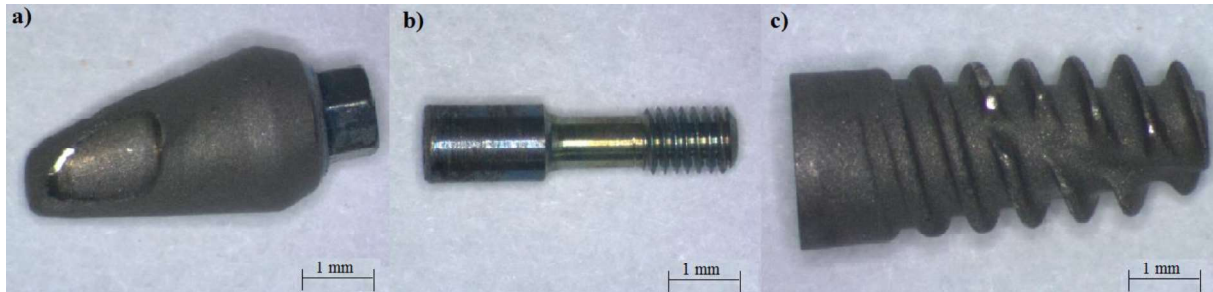
W nowoczesnej stomatologii ważną rolę odgrywa implantologia stanowiąca alternatywę dla uzupełnienia protetycznego. Jej celem jest odtworzenie i przywrócenie funkcji układu stomatognatycznego oraz poprawa estetyki wyglądu poprzez implantację do kości szczęki lub żuchwy wszczepu śródkostnego [1]. W ten sposób implant stomatologiczny na stałe zastępuje korzeń i koronę brakującego naturalnego zęba.

Leczenie implantologiczne obejmuje długi okres czasu, ze względu na konieczność osteointegracji wszczepu śródkostnego z tkanką kostną oraz dostosowanie się implantu do przenoszenia obciążeń powstających w środowisku jamy ustnej pacjenta i przekazywaniu ich na otaczające tkanki [2].

Wzrost populacji ludzi uczulonych na niektóre pierwiastki stosowane w stopach wykorzystywanych do produkcji wszczepów śródkostnych powoduje, że producenci muszą rozwijać innowacyjne techniki i technologie. Umożliwia to kreowanie nowych systemów implantologicznych z wykorzystaniem współczesnych biomateriałów charakteryzujących się większą biokompatybilnością, odpowiednią strukturą i własnościami mechanicznymi wpływającymi na osiągnięcie lepszej biomechaniki (szczególnie przenoszenia sił żucia) i stabilizacji wszczepu śródkostnego [3]. Obserwacje kliniczne i doniesienia literaturowe wskazują jednak na występowanie problemów z osteointegracją wszczepu śródkostnego z tkanką kostną. W pracy skupiono się na ocenie własności mechanicznych oraz struktury elementów systemu implantologicznego usuniętych z organizmu pacjenta po sześciomiesięcznym okresie od wszczępienia systemu.

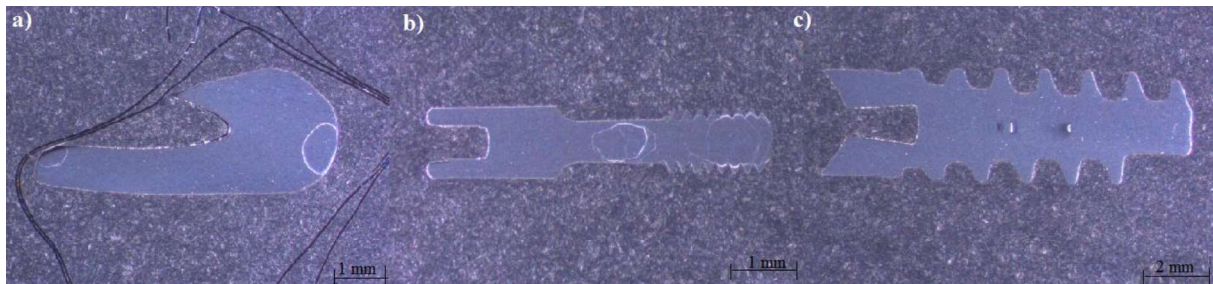
2. PRZYGOTOWANIE MATERIAŁU DO BADAŃ

Materiał badawczy stanowiły elementy (łącznik, śruba łącząca i wszczep śródkostny) wchodzące w skład systemu implantologicznego (rys. 1), które po wstępnych obserwacjach na mikroskopie stereoskopowym ZEISS SteREO Discovery.V8 zakwalifikowano do grupy implantów ICX-Implant firmy Medentis [4].



Rys. 1. Elementy systemu implantologicznego: a) łącznik (pow. 7,5 x), b) śruba łącząca (pow. 9,6 x), c) wszczep śródkostny (pow. 7,5 x)

W celu określenia struktury oraz twardości, poszczególne elementy systemu poddano cięciu, inkludowaniu przy pomocy żywicy Multifast i urządzenia firmy Struers CitoPress-20, szlifowaniu (papiery ściernic o gradacji 320, 800 i 1000) oraz polerowaniu powierzchni (zawiesina SiO₂, czas 20 min) z wykorzystaniem maszyny firmy Struers Tegramin-30 (rys. 2). Po zakończeniu tego procesu przeprowadzono trawienie w roztworze trawiącym 100 ml H₂O + 2 ml HF (40%) + 8 ml HNO₃ (czas 15-20 sekund).



Rys. 2. Zgłady metalograficzne systemu implantologicznego (pow. 7,5 x): a) łącznika, b) śruby łączącej, c) wszczepu śródkostnego

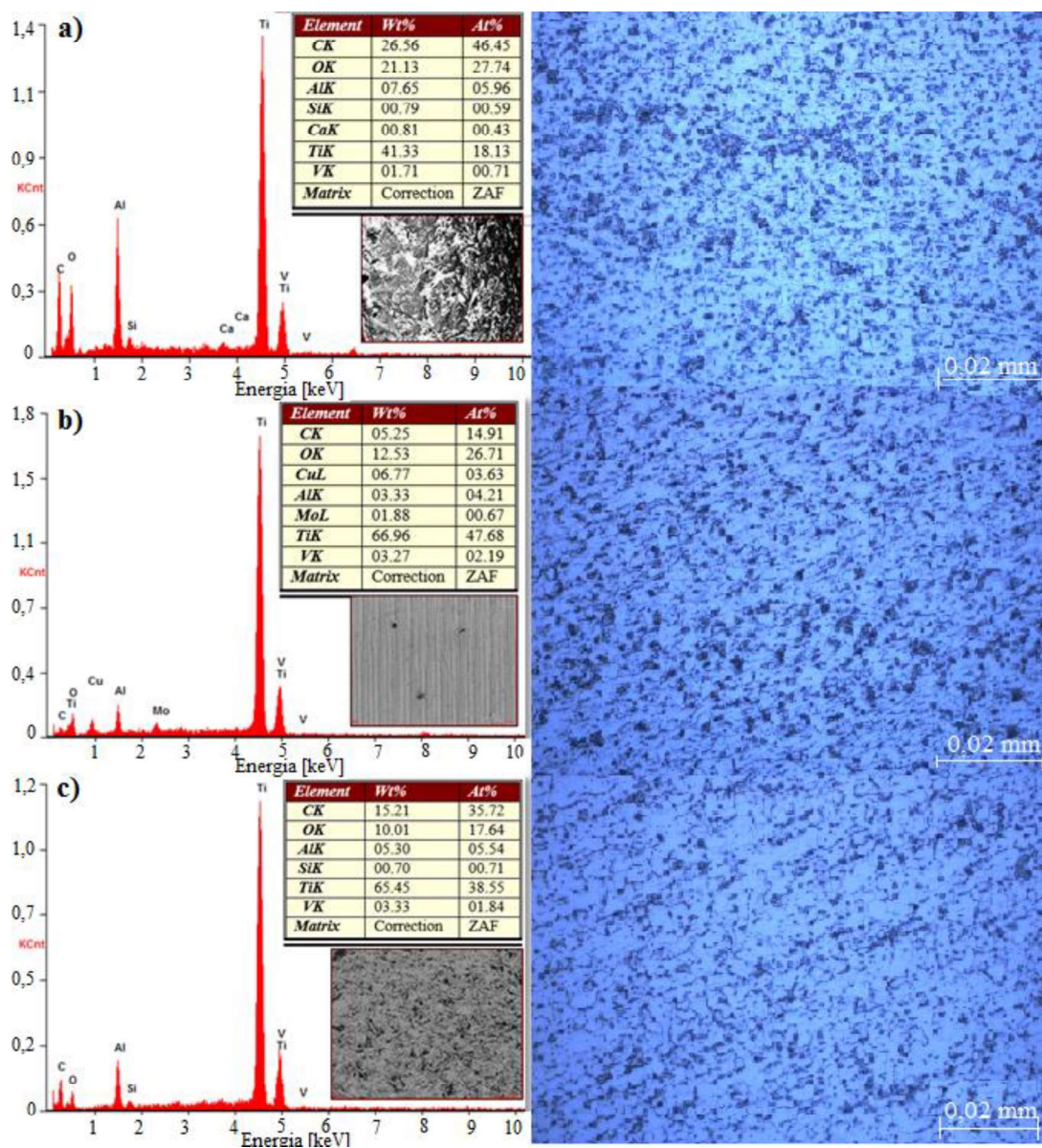
3. ANALIZA SKŁADU CHEMICZNEGO I STRUKTURY

Analiza jakościowa składu chemicznego poszczególnych elementów systemu implantologicznego została przeprowadzona z wykorzystaniem mikroskopu skaningowego firmy ZEISS Supra 35 wyposażonego w detektor SE i rozszerzonego o przystawkę EDS [5]. Analizie poddano po pięć obszarów każdego elementu. Wyniki identyfikacji pierwiastków wskazują na zastosowanie stopu tytanu (rys. 3) niezależnie od elementu systemu implantologicznego.

W celu określenia ewentualnych mechanicznych przyczyn utraty stabilności systemu obserwacjom poddano także powierzchnię wszczepu śródkostnego (SLActive) oraz śruby łączącej. Zaobserwowano prawidłowe rozwinięcie powierzchni wszczepu śródkostnego, wraz z wrosniętą tkanką kostną, świadcząca o rozpoczętym procesie osteointegracji (szczegółowe informacje na temat jakości powierzchni wszczepu śródkostnego zawarto w odrębnym opracowaniu). Natomiast powierzchnie gwintów śruby łączącej nie wykazywały

oznak zerwania, czy wykruszenia, co eliminuje braku osteointegracji w wyniku wystąpienia komplikacji natury mechanicznej [6].

Obserwacji struktury poszczególnych elementów dokonano na mikroskopie świetlnym firmy ZEISS Axio Observer Z1 w zakresie powiększeń $100 \div 1000$ (rys. 3). Obserwacje ujawniły występowanie dwóch faz α i β charakterystycznych dla dwufazowych stopów tytanu – strukturę z ciemnymi komórkowo rozmieszczonymi wydzieleniami fazy β (wzbogaconej w wanad) na tle jasnej fazy α (wzbogaconej w aluminium) [2]. Tym samym potwierdziły, wykonanie wszystkie elementów systemu implantologicznego ze stopu Ti-6Al-4V [7,8]. Uzyskana struktura wykazywała drobnoziarnistość oraz odpowiadała wymaganiom przewidzianym w normie EN-ISO 5832-3 ze względu na obecność typowej struktury dwufazowej $\alpha+\beta$ o dużym stopniu dyspersji [9].



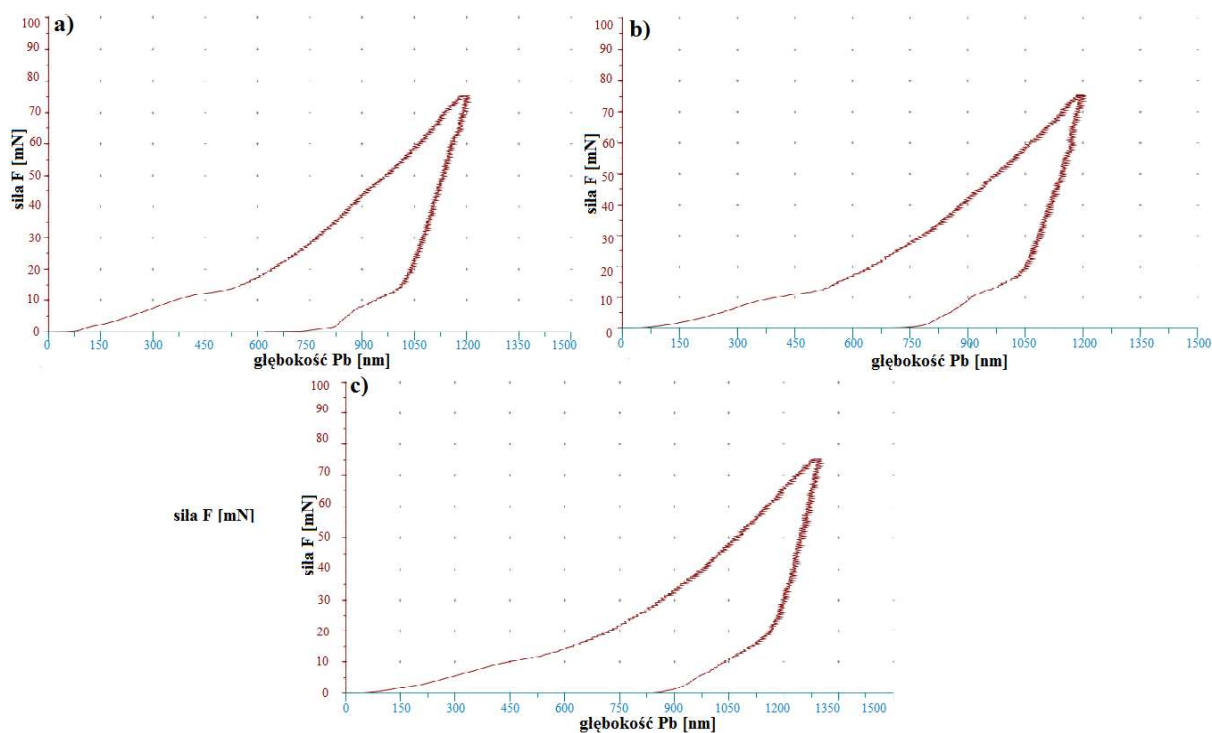
Rys. 3. Analiza składu chemicznego i obrazy struktury dwufazowej $\alpha+\beta$ (1000 x):
a) łącznika, b) śruby łączącej, c) wszczepu śródkostnego

4. BADANIA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH

Pomiar ultra-nanotwardości i modułu Younga przeprowadzono metodą Olivier'a i Pharr'a na platformie otwartej posiadającej UltraNanoindentation Tester firmy CSM. Przed wykonaniem pomiarów przeprowadzono kalibrację platformy otwartej. Obciążenie dobrano na podstawie rozmiarów poszczególnych elementów systemu implantologicznego i wynosiło ono 75 mN. Badanie polegało na dokonaniu trzech pomiarów dla losowo wybranych miejsc na każdej próbce z wykorzystaniem diamentowego wgłębnika Berkovicha. Była to minimalna liczba pomiarów, przy których możliwe było określenie modułu Younga i ultra-nanotwardości. Uśrednione wartości zamieszczono w tabeli 1 oraz zobrazowano graficznie (rys. 4) – zaobserwowano brak powtarzalności przeprowadzonych pomiarów.

Tabela 1. Wartości twardości i modułu Younga

Elementy systemu implantologicznego	Moduł Younga E, [GPa]	Odch.st., σ	Twardość H, [MPa]	Odch.st., σ
Łącznik	52,59	10,71	2447,96	920,22
Śruba łącząca	71,52	5,03	2979,25	78,39
Wszczep śródkostny	65,63	9,15	2315,40	536,05



Rys. 4. Wykres zależności głębokości od obciążenia a) łącznika, b) śruby łączącej, c) wszczepu śródkostnego

Analizując uzyskane wartości modułu Younga i ultra-nanotwardości zauważono różnice w uzyskanych wynikach dla poszczególnych próbek. Największymi wartościami modułu Younga 71,52 [GPa] i twardości 2979,25 [MPa] cechowała się śruba łącząca, której zadaniem było zapewnienie funkcjonalności systemu implantologicznego poprzez trwałe połączenie wszczepu śródkostnego z łącznikiem. Gdyby wartości te były niższe od wartości

twardości pozostałych elementów systemu implantologicznego, śruba mogłaby ulec pęknięciu w trakcie użytkowania, a w konsekwencji złamaniu.

Badania własności mechanicznych uzyskane przez autorów pracy [10] dla próbek wykonanych techniką DMLS ze stopu Ti-6Al-4V wykazały wartość modułu Younga wynoszącą 130 [GPa], oraz średnią wartość twardości równą 4583,6 [MPa]. Wartości te odbiegają znacząco od otrzymanych wartości dla badanych elementów systemu implantologicznego.

Pomimo zaobserwowanych różnic, struktura ujawniona we wszystkich elementach systemu (wielkość, kształt i morfologia fazy α) była prawidłowa i zgodna z zaleceniami normatywnymi [11].

5. PODSUMOWANIE

Cechy osobnicze pacjenta oraz uzyskana stabilność biomechaniczna układu wszczep śródkostny – kość wpływa w znacznym stopniu na jego pooperacyjną eksploatację. Połączenie wszczepu śródkostnego (rys. 1c) i łącznika (rys. 1a) powinno charakteryzować się dużą stabilnością i łatwością montażu oraz powinno być tak zaprojektowane, aby było odporne na deformację lub złamania podczas implantacji i w trakcie obciążenia fizjologicznego. Oba elementy mocowane są przy pomocy śruby łączącej (rys. 1b). Rolą wszczepu śródkostnego jest odtworzenie funkcji korzenia zęba pracującego w zmiennych warunkach środowiska jamy ustnej.

Do najczęściej opisywanych mechanicznych powikłań zalicza się problemy w okluzji i artykulacji, uszkodzenia powierzchni żujących prac stałych, poluzowanych i uszkodzenia śruby łączącej wszczep śródkostny, czy nawet złamanie implantu (materiał nie może być wadliwy) [6].

Ze względu na brak zaobserwowanych jakichkolwiek wymienionych powyżej powikłań, wpływ na nieudany proces osteointegracji badanego wszczepu śródkostnego z tkanką kostną najprawdopodobniej mogła mieć: słaba higiena jamy ustnej, nałogowe palenie papierosów, zła jakość kości, czy też wystąpienie alergii na pierwiastki stopu Ti-6Al-4V [12]. Potwierdzenie tego wniosku wymaga jednak dalszych badań. Biorąc pod uwagę wszystkie powyższe aspekty można także wysunąć przypuszczenie, iż wpływ na komplikację osteointegracji wszczepu śródkostnego z tkanką kostną mogły mieć także siły biomechaniczne wyzwalane przez konstrukcję protetyczną oraz indywidualne cechy organizmu pacjenta.

LITERATURA

- [1] Majewski S.W. (red.): Implantologia. Stomatologia praktyczna, wydanie I polskie, Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2004.
- [2] Craig R. G.: Materiały stomatologiczne, Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2006.
- [3] Kromka-Szydek M., Miodowska J.: Analiza MES procesu zrostu układu żuchwa-przeszczep przy zastosowaniu implantów stomatologicznych pod odbudowę uzębienia, Aktualne Problemy Biomechaniki, zeszyt nr 10, 2016, s. 25-30.
- [4] ICX Implants, <https://medentis.de>, [dostęp 05.04.2016].
- [5] Hajduga M., Zdziech T.: Wpływ środowiska jamy ustnej na uzupełnienie protetyczne metalowo-ceramiczne, Aktualne Problemy Biomechaniki, zeszyt nr 5, 2011, s. 45-52
- [6] Ziębowicz A., Bączkowski B.: Numerical analysis of the implant - abutment system, Information Technologies in Biomedicine, ITIB, vol. 7339, 2012, p. 341-350.

- [7] Marciniak J., Kaczmarek M., Ziębowicz A.: Biomateriały w stomatologii, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008.
- [8] ASTM F 136-08. Standard specification for wrought Titanium-6Aluminium-4Vanadium ELI (Extra Low Interstitial) alloy for surgical implant applications (UNS R56401), 2008
- [9] Marciniak J.: Biomateriały, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
- [10] Rynkiewicz A.M., Bojko Ł., Rynkiewicz W.: Pomiar własności mikromechanicznych tytanu i jego stopu przeznaczonych na konstrukcje protetyczne, Przegląd Elektrochemiczny, vol. 5, 2014, s. 150-152.
- [11] Natali A.N.: Dental Biomechanics, Taylor&Francis Group, London 2013.
- [12] Makuch K., Koczorowski R.: Biokompatybilność tytanu oraz jego stopów wykorzystywanych w stomatologii, Dental and Medical Problems, vol. 47, 2010, s. 81-88.

EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES AND STRUCTURE OF IMPLANTOLOGICAL SYSTEM COMPONENTS

Abstract: There are some cases in implantology connected with osseointegration problem of intraosseous implant and bone tissue. Scientists are still looking for the reason of this complication, at the same time developing new methods of implants systems, that are made with more biocompatible biomaterials. The aim of the study was to evaluate the mechanical properties and structure of components dedicated for implant system. For the purposes of operating an analysis of the chemical composition (SEM), measurements of ultrahardness and Young's modulus and microscopic observations structure of the material were made.