

Magdalena KROMKA-SZYDEK¹, Justyna MIODOWSKA¹

¹Politechnika Krakowska, Instytut Mechaniki Stosowanej

ANALIZA MES PROCESU ZROSTU UKŁADU ŻUCHWA - PRZESZCZEP PRZY ZASTOSOWANIU IMPLANTÓW STOMATOLOGICZNYCH POD ODBUDOWĘ UZĘBIENIA

Streszczenie: W pracy przedstawiona została analiza MES zrekonstruowanej żuchwy wraz z wprowadzonymi implantami stomatologicznymi. Ocena najbardziej korzystnych warunków do powstania prawidłowego zrostu kostnego odbywała się poprzez porównanie otrzymanych wartości intensywności odkształcenia na granicy pomiędzy kością żuchwy a przeszczepem autogennym, z wartościami granicznymi zawartymi w hipotezie stymulatora mechanicznego przebudowy tkanki kostnej.

Słowa kluczowe: żuchwa, rekonstrukcja, MES, implanty stomatologiczne

1. WSTĘP

W rekonstrukcji żuchwy jednym z najbardziej istotnych problemów klinicznych jest wielkość usuniętego fragmentu oraz jego lokalizacja. Najtrudniejsze warunki stwarzają ubytki w części bródkowej, ponieważ wycięcie tego fragmentu wraz z przednią częścią dna jamy ustnej i mięśniami, powoduje przemieszczenie pozostałych odcinków żuchwy [1]. Wypełnienie ubytku wiąże się z koniecznością odbudowy zarówno jej ciągłości, jak i krzywizny [2]. Równocześnie rekonstrukcja dużych fragmentów żuchwy ogranicza możliwości późniejszej pełnej rehabilitacji układu stomatognatycznego. Dlatego też celem zabiegu odtwórczego powinna być odbudowa podłoża protetycznego i wykorzystanie przeniesionej kości do wprowadzenia śródkostnych wszczepów stomatologicznych stanowiących filary do późniejszej pełnej odbudowy uzębienia. Umieszczenie implantów ma umożliwić pacjentowi poprawę rehabilitacji czynnościowej po resekcji fragmentu żuchwy dzięki odtworzeniu czynności żucia [1]. Przeszczep kostny musi zapewnić dostateczną szerokość i wysokość dla wprowadzenia wszczepów o odpowiedniej długości, dla utrzymania zaprojektowanej protezy podczas obciążania funkcjonalnego przez długi czas [3, 4]. We współczesnej chirurgii szczękowo-twarzowej, jako postępowanie z wyboru, stosuje się najczęściej autogenne przeszczepy stabilizowane tytanowymi płytami rekonstrukcyjnymi. Jako wszczepy pod odbudowę uzębienia najbardziej popularne są implanty śródkostne, rotacyjno-symetryczne, cylindryczne lub w kształcie śrub z różnymi typami gwintów, poddawane obciążeniom funkcjonalnym i bezpośrednio połączone z kością [5].

2. CEL PRACY

Celem pracy była analiza metodą elementów skończonych MES zrekonstruowanej żuchwy wraz z wprowadzonymi implantami stomatologicznymi. Ocena najbardziej korzystnych warunków do powstania prawidłowego zrrostu kostnego odbywała się poprzez porównanie otrzymanych wartości intensywności odkształcenia na granicy pomiędzy kością żuchwy a przeszczepem autogennym, z wartościami granicznymi zawartymi w hipotezie stymulatora mechanicznego przebudowy tkanki kostnej.

Jako przeszczep autogeny przyjęte zostały trzy różne materiały (kość biodrowa, kość strzałkowa oraz żebro), uwzględniono również dwie różne długości implantów (13 i 18 mm). Analizie poddano trzy warianty:

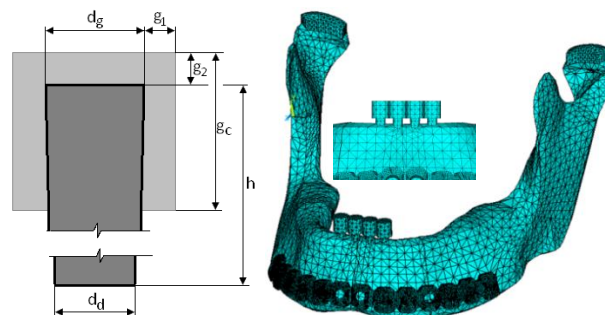
- żuchwy z przeszczepem autogennym i płytą rekonstrukcyjną (W1),
- żuchwy z przeszczepem autogennym i płytą rekonstrukcyjną oraz implantami stomatologicznymi (W2_13 oraz W2_18),
- żuchwy z przeszczepem autogennym bez płyty rekonstrukcyjnej oraz z implantami stomatologicznymi (model odpowiada sytuacji kiedy po określonym czasie stabilizacji lekarz podejmuje decyzję o zdjęciu płyty) (W3_13 oraz W3_18).

W analizie skupiono się głównie na rejonach kontaktu kości i przeszczepu (linie osteotomii – lewa i prawa) oraz kontaktu na granicy kość-implant, ponieważ są to obszary, w których obserwowane są procesy kościotworzenia, resorpcji lub zaniku kości.

3. METODYKA

Model żuchwy z przeszczepem oraz implantami utworzony został w programie FEMAP, a analiza MES przeprowadzona w programie ANSYS. Tworząc model żuchwy oparto się na opisie klinicznym przypadku asymetrycznej rekonstrukcji bródki, w którym obie linie osteotomii przebiegały w obszarze pomiędzy kłębkiem, a pierwszym zębem przedtrzonowym po obu stronach żuchwy. Wolny przeszczep miał postać bloku oraz został unieruchomiony 13-sto oczkową, tytanową płytą rekonstrukcyjną 2,4-Synthes z 10-cioma śrubami UniLock. Zrrost kostny zamodelowany został przez wprowadzenie bryły o grubości 0,1 mm symulującej kostninę (nie uwzględniano zjawisk nieliniowych oraz kontaktu).

Implanty pod odbudowę uzębienia zamodelowano jako ścięte stożki o średnicach: górnej $d_g = 3,0$ mm oraz dolnej $d_d = 2,5$ mm i zostały wprowadzone w konfiguracji odpowiadającej zębom siecznym. W górnej części każdego implantu zamodelowano element ceramiczny do nadbudowy protetycznej (rys.1).

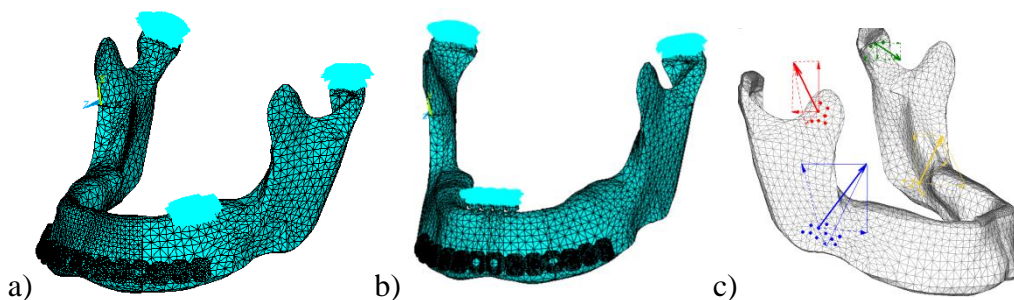


Rys. 1. Kształt i wymiary wszczepu stomatologicznego oraz model żuchwy z wprowadzonymi implantami

Materiały kostne przyjęto jako izotropowe, a wartość kostniny odpowiadała końcowym tygodniom zrostu (Tabela 1). Z uwagi na odmienny sposób obciążania żuchwy, związany z obecnością lub brakiem wszczepów stomatologicznych, przyjęto dwa schematy: obciążenie na zęby boczne [8] oraz obciążenie na zęby sieczne [6] (rys. 2). Uwzględniono działanie podstawowych grup mięśniowych: żwacza, skroniowego, skrzydłowego przyśrodkowego i skrzydłowego bocznego, siły przyłożono w miejscach przyczepu mięśni, a sumaryczna wartość siły wynosiła 100N. Zamodelowano również uproszczony staw skroniowo-żuchwowy. Więzy zostały przyłożone na górnych powierzchniach kości oraz w rejonie odpowiednich zębów w zależności od przyjętego schematu nagryzania (zęby sieczne lub trzonowe).

Tabela. 1. Stałe materiałowe przyjmowane do obliczeń [6, 7]

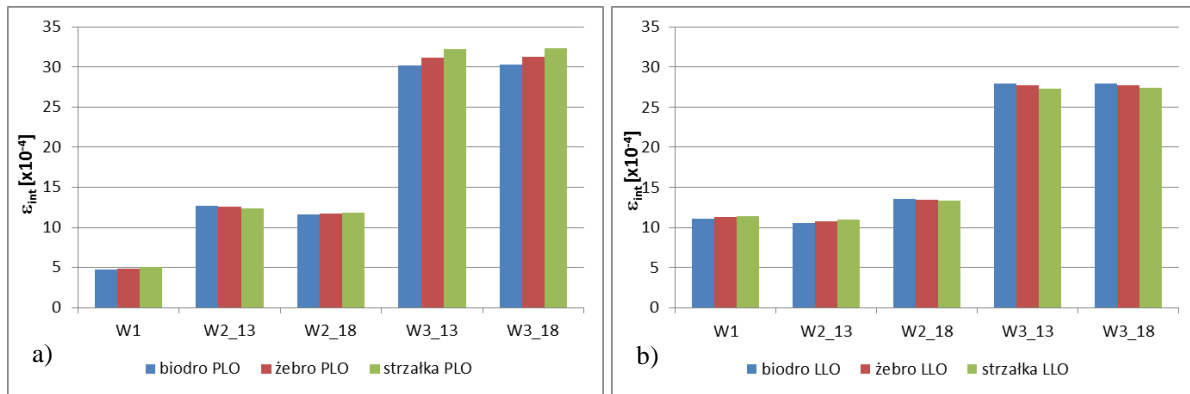
	kość żuchwy	kostnina	prze-szczep	śruby i płyta rekonstr.	krażek stawowy	kość skroniowa	ozębna	wszczepy	ceramika
E[MPa]	18000	200	↓	108000	50	15000	67	110000	210000
v	0,32	0,4		0,3	0,45	0,32	0,47	0,3	0,19
	kość biodrowa		żebro	kość strzałkowa					
E [MPa]	8000		11500	21100					
v	0,35		0,3	0,3					



Rys. 2. Przyjęte schematy obciążenia: a) utwierdzenie na zęby boczne, b) utwierdzenie na zęby sieczne oraz c) obszary przyłożenia sił od mięśni

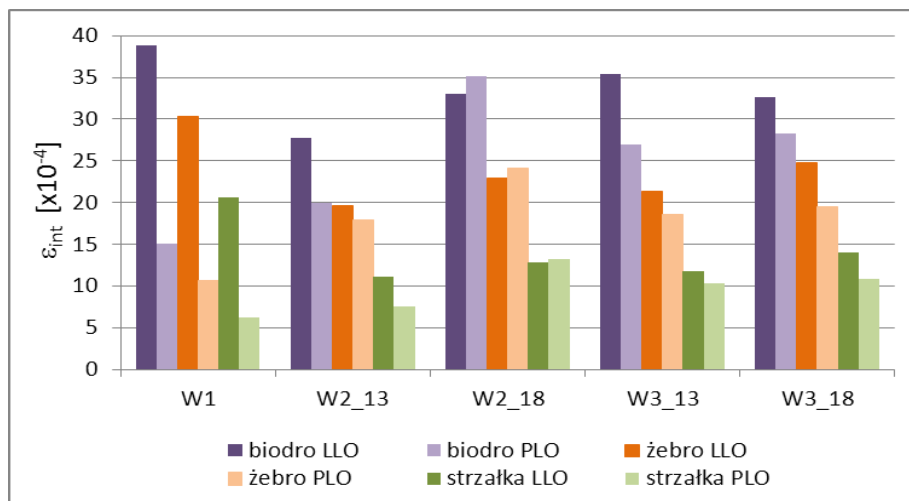
4. WYNIKI

Wyniki przeprowadzonych analiz MES przedstawione zostały w formie wykresów zmiany wartości maksymalnej intensywności odkształcenia dla kości żuchwy i przeszczepu wzdłuż linii osteotomii (rys. 3 i rys. 4) oraz map rozkładów intensywności odkształcenia w przeszczepie w miejscu wprowadzenia wszczepów pod odbudowę uzębienia (rys. 5 i rys. 6).



Rys. 3. Zmiana maksymalnych wartości intensywności odkształcenia ϵ_{int} w żuchwie dla analizowanych wariantów, dla: a) prawej linii osteotomii, b) lewej linii osteotomii

Widać, że dla przypadku braku implantów stomatologicznych wartość odkształcenia w żuchwie jest najniższa. Mieści się ona w zakresie równowagi fizjologicznej czyli między 2-20 [$\times 10^{-4}$] jednak, zwłaszcza dla prawej linii osteotomii (czyli dalszej w stosunku do obszaru nagryzania), wartości te są bardzo małe. Zastosowanie implantów pod odbudowę uzębienia powoduje wzrost wartości ϵ_{int} , dla prawej linii osteotomii, co w efekcie powoduje zwiększenie możliwości równomiernego wgojenia się przeszczepu. Najlepszy efekt uzyskuje się po usunięciu płyty rekonstrukcyjnej, gdyż wartości intensywności odkształcenia wzrastają do odpowiadających zakresowi wzrostu fazy mineralnej kości.

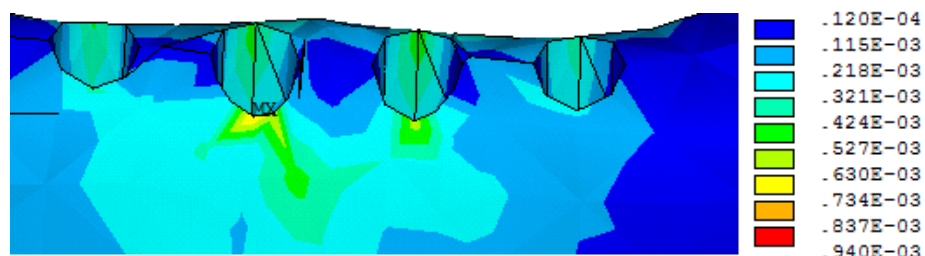


Rys. 4. Maksymalne wartości intensywności odkształcenia dla analizowanych przypadków dla prawej i lewej linii osteotomii (PLO i LLO).

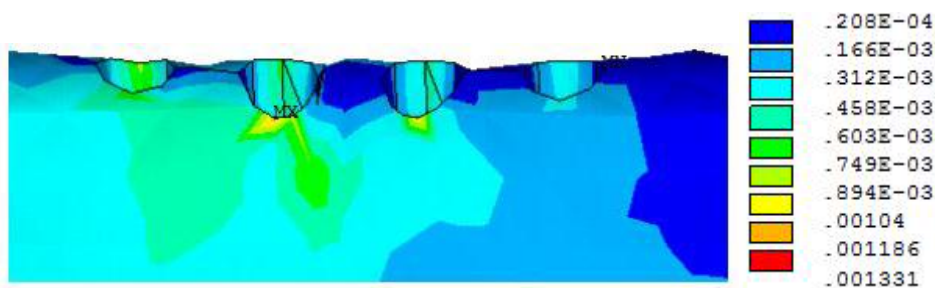
Z wykresu na rys. 4 widać znaczącą różnicę maksymalnej wartości ϵ_{int} dla przypadku W1 czyli bez implantów stomatologicznych dla obu linii osteotomii. Dla przeszczepu z talerza kości biodrowej wartość zbliża się do górnego zakresu powyżej którego może dojść do powstawania resorpcji (zakres obciążeń patologicznych). Wprowadzenie wszczepów powoduje, że wartość ϵ_{int} wzdłuż lewej linii osteotomii spada średnio o 36% dla implantów o długości 13 mm oraz 25% dla implantów o długości 18 mm. Natomiast wzdłuż prawej linii osteotomii następuje wzrost wartości maksymalnej ϵ_{int} średnio o 27% dla wszczepów 13 mm oraz 55% dla wszczepów 18 mm. Wydaje się, że korzystniejsze jest wprowadzenie implantów stomatologicznych o długości 18 mm, gdyż dla przeszczepów z kości biodrowej oraz z żebra

wartość intensywności odkształcenia pozostaje w zakresie odpowiadającym wzrostowi fazy mineralnej (dla kości strzałkowej jest to zakres równowagi fizjologicznej).

Na rys. 5 i 6 przedstawiono rozkład intensywności odkształcenia w przeszczepie z kości biodrowej, w obszarze wprowadzenia implantów stomatologicznych do kości. Widać, że wyłączenie dla obu przypadków długości wszczepów obejmuje ten sam obszar, a wartość maksymalna mieści się w zakresie równowagi fizjologicznej. Podobna tendencja występuje dla pozostałych materiałów kostnych stosowanych jako przeszczep autogeny.



Rys. 5. Rozkład intensywności odkształcenia ϵ_{int} w obszarze wprowadzenia implantów stomatologicznych dla wariantu W2_18



Rys. 6. Rozkład intensywności odkształcenia ϵ_{int} w obszarze wprowadzenia implantów stomatologicznych dla wariantu W3_18

5. WNIOSKI

Przeprowadzone symulacje numeryczne wykazały, że rodzaj pobranego materiału do rekonstrukcji żuchwy ma wpływ na wartości powstałego odkształcenia na granicy kość żuchwy-przeszczep. Wprowadzenie implantów stomatologicznych daje pacjentom możliwość nagryzania pokarmów zębami przednimi. Dzięki temu przeszczep zostaje obciążony większymi siłami co skutkuje powstawaniem odkształceń o wartościach, w zakresie których odpowiedzią tkanki kostnej jest zrost i, co jest z tym związane, prawdopodobne prawidłowe wgojenie przeszczepu. Wyłączenie tkanek twardych kości występuje wokół otworów, w których umieszczono implanty na dolnej powierzchni co pokrywa się z obserwacjami innych autorów [9, 10, 11, 12].

Różnica w długości implantów największy wpływ ma na wartości ϵ_{int} na granicy pomiędzy kością żuchwy a przeszczepem. W mniejszym stopniu natomiast wpływa na proces wgajania implantów.

Usunięcie płyty rekonstrukcyjnej w przypadku wprowadzonych implantów o długości 18 mm powoduje wzrost wartości intensywności odkształcenia w żuchwie dla wszystkich materiałów stosowanych na przeszczepy, co może mieć pozytywny wpływ na przebudowę tkanki kostnej. Na podstawie analiz wydaje się, że ta długość wszczepów jest korzystniejsza. Równocześnie usunięcie płyty rekonstrukcyjnej przy wprowadzonych implantach zarówno 18-sto jak i 13-sto mm nie powinno powodować wystąpienia patologicznych przeciążeń na granicach pomiędzy żuchwą a przeszczepem.

LITERATURA

- [1] Kowalczyk R., Kowalik S.: Rekonstrukcja żuchwy w materiale Kliniki Chirurgii Szcękowo-Twarzowej PAM w Szczecinie, *Czasopismo Stomatologiczne*, vol. 55(3), 2002, p. 169–176.
- [2] Maciejewski A., Szymczyk C.: Techniki mikrochirurgiczne w rekonstrukcji poresekcyjnych ubytków żuchwy - propozycja algorytmu, *Czasopismo Stomatologiczne*, 2005, LVIII, 7.
- [3] Marunick M.T., (et al.): Functional criteria for mandibular implant placement post resection and reconstruction for cancer, *J. Prosthet. Dent.*, vol. 82, 1999, p. 107-113.
- [4] Mierzwińska-Nastalska E., Rolski D., Gładkowski J., Łomżyński Ł., Kostrzewa-Janicka J., Mateńsko D., Ciechowicz K., Starościak S., Jaworowski J.: Rehabilitacja implantoprotetyczna pacjentów po resekcji żuchwy i rekonstrukcji z zastosowaniem unaczynionych płatów z kości strzałki, *Protetyka Stomatologiczna*, 2010, vol. 60(3), p. 182-193
- [5] Shin S-Y., Kye S-B., Hong J.: The effect of peri-implant bone exposure on soft tissue healing and bone loss in two adjacent implants, *J Periodontal Implant Sci.*, vol. 42, 2012, p. 20-24.
- [6] Kromka-Szydek M., Jędrusik-Pawłowska M., Milewski G., Lekston Z., Cieślik T., Drugacz J.: Numerical analysis of displacements of mandible bone parts Rusing various elements for fixation of subcondylar fractures, *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, Vol. 12, No. 1, 2010, p. 11-18.
- [7] Milewski G.: Wytrzymałościowe aspekty interakcji biomechanicznej tkanka twarda-implant w stomatologii, *Rozprawa habilitacyjna*, wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2002.
- [8] Nagasao T., Miyamoto J., Tamaki T., Kawana H.: A comparison of stresses in implantation for grafted and plate-and-screw mandible reconstruction, *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, Vol. 109(3), 2010, p. 346–356.
- [9] Huang H-L., Hsu J-T., Fuh L-J., Lin D-J., Chen M.Y.C.: Biomechanical simulation of various surface roughnesses and geometric designs on an immediately loaded dental implant, *Computers in Biology and Medicine*, vol. 40, 2010, p. 525–532.
- [10] Hudieb M., Kasugai S.: Biomechanical effect of crestal bone osteoplasty before implant placement: a three-dimensional finite element analysis, *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, vol. 40, 2011, p. 200–206.
- [11] Matsunaga S., Okudera H., Abe S., Tamatsu Y., Hashimoto M., Ide Y.: Influence of Bite Force on the Internal Structure of the Mandible through Implant-Three-dimensional and Mechanical Analysis Using Micro-CT and Finite Element Method, *J. Oral Biosci.*, vol. 50(3), 2008, p. 194-199
- [12] Saidin S., Kadir M., Sulaiman E., Kasim N.: Effects of different implant–abutment connections on micromotion and stress distribution: Prediction of microgap formation, *Journal of Dentistry*, vol. 40, 2012, p.467-474

FEM ANALYSIS OF BONE UNION PROCESS OF THE MANDIBULAR-GRAFT SYSTEM USING DENTAL IMPLANTS FOR THE DENTAL RECONSTRUCTION

Abstract: The aim of work was FEM analysis the case of mandibular reconstruction with use dental implants. The evaluation of bone union process was performed as a comparison of the strain intensity value on the border mandibular – autogenous graft with limit values that are included the hypothesis of a mechanical stimulator remodeling of bone tissue.