

ASPEKTY BIOMECHANICZNE USZKODZEŃ MINIPLYTEK ZESPALAJĄCYCH KOŚCI TWARZOCZASZKI

Jarosław Sidun, Jan R. Dąbrowski

Katedra Inżynierii Materiałowej i Technologii Maszyn, Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45c, 15-351 Białystok, e-mail: jareks@pb.edu.pl, jrd@pb.edu.pl

Streszczenie. Badania systemu stabilizacji kości żuchwy wynikają z konieczności wdrażania ciągłych udoskonaleń w tym systemie. Wybór właściwej metody stabilizacji uszkodzonego układu kostnego ma istotne znaczenie dla procesu leczenia oraz rehabilitacji pacjenta. W niniejszej pracy analizowano biomechanikę płytkowych zespolień złamań kości żuchwy. Praktyka kliniczna wskazuje, że zastosowanie niewłaściwie dobranego systemu zespolenia i warunków biomechanicznych stabilizacji powoduje nieprawidłowy przebieg zrostu kostnego. W pracy przedstawiono zagadnienia dotyczące uszkodzeń płytek zespalaających oraz reakcji okołowszczepowych elementów zespolenia. Wstępne wyniki wskazują na przechodzenie jonów metalu z powierzchni implantu do tkanki kostnej. Zaobserwowano również ogniska korozyjne na samych implantach. Związane jest to z występowaniem korozji zmęczeniowej wywołanej niskocyklicznymi obciążeniami zmiennymi, które przebiegają w środowisku aktywnym chemicznie, jakim jest żywy organizm.

Słowa kluczowe: fixation biomechanics, mandibula, miniplates.

WSTĘP

W złamaniach kości twarzy ważny problem terapeutyczny stanowi nastawienie odłamów i ich unieruchomienie. W złamaniu niedostatecznie unieruchomionym szczelina rozszerza się i zrost jest opóźniony. Jeżeli odłamy stale narażone są na przemieszczanie, proces gojenia ulega poważnym zaburzeniom. Wprowadzenie stabilnej osteosyntezy zapewnia lepszą stabilizację odłamów, umożliwia dalsze leczenie czynnościowe bez stosowania unieruchomienia międzyszczękowego oraz skraca czas leczenia.

Zastosowanie mikro lub miniptytek w leczeniu kości twarzoczaszki uważa się obecnie za jedną z najskuteczniejszych metod chirurgii szczękowej. Osteosynthese przy pomocy miniptytek zalecana jest we wszystkich przypadkach złamań kości żuchwy. Złamanie kości twarzoczaszki jest najczęstszym przypadkiem poważnych urazów głowy występujących w wyniku wypadków komunikacyjnych, sportowych, w pracy lub pobić.

O jakości zespolenia i występujących powikłaniach decydują cechy biomechaniczne zespolenia, a więc geometria płytki i jej własności mechaniczne, a także technika zespolenia połączona z umiejętnościami operatora. Źle dobrany system stabilizujący może prowadzić do powikłań zrostu jak również nadmiernego zużycia się jego elementów. Za nadmiernym zużyciem idą zamiany wokół tkanek, do których przechodzą produkty zużycia [7].

Badania Marciniaka [6] wykazały, że w konsekwencji rozwoju korozji, powstaje w pobliżu implantu torebka łącznotkankowa z odczynami oraz metaloza. Metaloza jest to lokalne oddziaływanie jonów metali lub produktów korozji implantu na tkanki organizmu [3].

Osteoliza wokół implantu jest złożonym procesem biochemicznym ściśle powiązany z mechanicznym funkcjonowaniem implantu. Aktywacja różnicowania osteoblastów jest pobudzana przez cytokiny wydzielane z makrofagów w wyniku fagocytozy drobin hydroksypotyty i polimetyloksylanu i polietylenu oraz metalu pochodzących z implantu [2, 5].

W organizmie ludzkim występuje 11 pierwiastków o podstawowym znaczeniu biologicznym. Są to: węgiel, wodór, tlen, azot, siarka, wapń, fosfor, potas, sód, chlor i magnez. Obok nich wyróżnia się 15 pierwiastków śladowych: żelazo, cynk, miedź, mangan, nikiel, kobalt, molibden, selen, chrom, jod, fluor, cyna, krzem, wanad i arsen. Inne pierwiastki nie biorą udziału w reakcjach metabolicznych. Rola biopierwiastków polega na działaniu pobudzającym lub hamującym czynność białek enzymatycznych decydujących o wielu podstawowych procesach życiowych. Zbyt małe stężenie wywołuje zjawiska niedoboru, podczas gdy zbyt duże spowodować może zatrucie. Obecność materiału implantowanego w organizmie, jego korozja w konsekwencji metaloza mogą stać się także źródłem biopierwiastków i przyczynić się do rozwoju niekorzystnych reakcji [1, 4, 10]. Nadmiar poszczególnych biopierwiastków może powodować następujące reakcje:

- Ni - stan zapalny tkanek okołowszczepowych, odczyny alergiczne (kobiety), rakotwórczy,
- Cr – toksyczny (Cr^{3+} , Cr^{6+}), uszkodzenia komórek (tkanek, narządów miękkich, wątroby, nerek), odczyny alergiczne (mężczyźni),
- Fe – katalizowanie reakcji tworzenia wolnych rodników (miażdżyca naczyń, marskość wątroby, nowotwory, uszkodzenia DNA, RNA),
- Co – niskotoksyczny (komórki mięśnia sercowego), alergia (0,5-5% populacji), zmiana struktury kwasów nukleinowych (rakotwórczość),
- Mo – zwiększenie ilości metabolitów kwasu moczowego,
- V – cytotoksyczny, zaburzenia neurogenne,
- Al – powiązania z chorobą Alzheimera.

Doniesienia literaturowe pokazują, że elementy zużycia metalu i chroniczny stan zapalny łącznie z tkanką ziarninową są związane z nadmiernym występowaniem pierwiastków powodujących te reakcje [8, 9].

W pracy niniejszej przedstawiono zagadnienia dotyczące biomechaniki zespołu kości żuchwy oraz reakcji okołowszczepowych powstałych wokół elementów zespalających.

MATERIAŁ I METODA BADAŃ

Badania przeprowadzono na grupie losowo wybranych przypadków zespołu płytkowych kości żuchwy. Do badań pobierano fragmenty tkanek z okolic bezpośredniego kontaktu z implantem. Pobrane preparaty zostały poddane badaniu składu chemicznego. Badania prowadzono z wykorzystaniem mikroskopu skaningowego Hitachi S-3000N, wyposażonego w spektrometr rentgenowski typu NSS (Noran System Six) oraz stolik wymrożeńowy do badania preparatów biologicznych. Badania wykonano przy napięciu przyspieszającym 15 kV i czasie pomiaru jednego punktu 100 s.

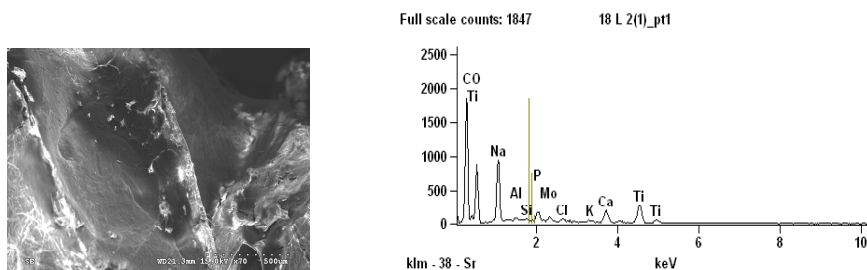
Wykonane zostały również badania eksperymentalne jedno- i dwupłytkowe zespolenia trzonu kości żuchwy. Badania zostały wykonane na kompozytowym modelu kości żuchwy firmy Promedica, która doskonale imituje dwuwarstwową budowę kości naturalnych.

WYNIKI BADAŃ

Wstępne wyniki badań wskazują na przechodzenie jonów metalu z powierzchni implantu do tkanki kostnej. Zaobserwowano również ogniska korozyjne na samych implantach. Związane jest to z występowaniem korozji zmęczeniowej wywołanej niskocyklicznymi obciążeniami zmiennymi, które przebiegają w środowisku aktywnym chemicznie, jakim jest żywy organizm. Badania składu chemicznego kości wykazały obecności pierwiastków metalicznych. Maksymalne stężenie atomów w badanych strukturach kostnych wynosiło:

0,07÷3,89% Ti; 0,05÷0,9% Al; 0,05÷0,2% Fe; 0,54÷0,79% Mo.

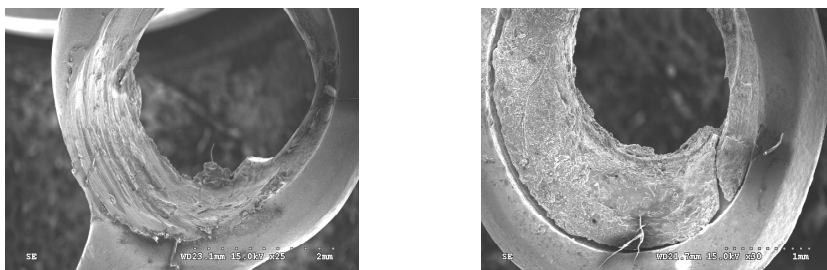
Przykład analizy składu chemicznego z wykorzystaniem mikroanalizatora rentgenowskiego NSS oraz odpowiadającej struktury preparatu kostnego, przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Zdjęcie z mikroskopu skaningowego tkanki z okolicy zespolecia oraz odpowiadające mu widmo składu chemicznego z mikroanalizatora rentgenowskiego NSS

Fig. 1. Image of the area surrounding the fixation obtained from a scanning microscope; corresponding spectrum of the chemical makeup obtained from the NSS x-ray microanalysis

Zaobserwowane występowanie pierwiastków metalicznych w tkankach otaczających płytkę zespalającą spowodowane jest większym zużyciem powierzchni elementów płytki zespalającej. Przykładowe powierzchnie implantów z wyraźnymi cechami występowania zużycia przedstawiono na rysunku 2.

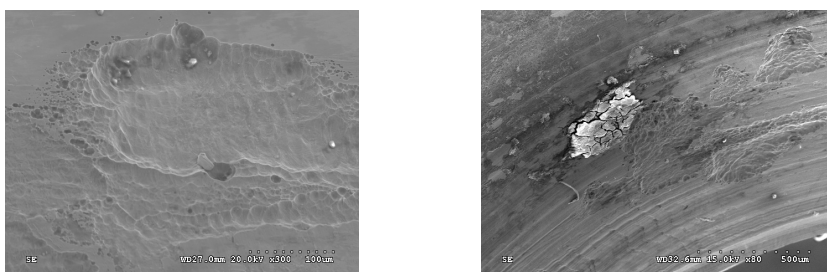


Rys. 2. Obraz przedstawiający zużycie elementów zespolecia płytkowego uzyskanego z mikroskopu skaningowego

Fig. 2. Image showing miniplate wear obtained from the scanning microscope

Bardzo często obserwowanym typem zużycia jest zużycie określane jako fretting. Zużycie przez fretting jest to zjawisko niszczenia warstwy wierzchniej, polegające na powstawaniu miejscowych ubytków materiału w elementach poddanych działaniu drgań lub niewielkich po-

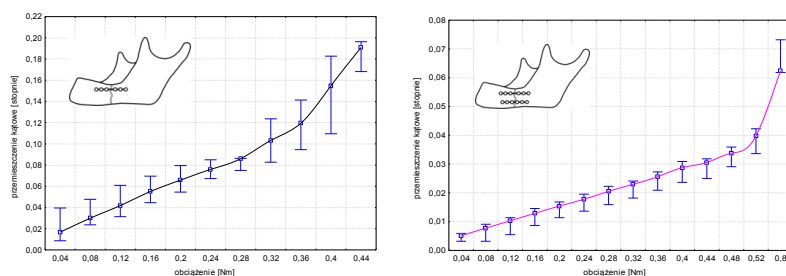
ślizgów w ruchu postępowo-zwrotnym oraz intensywnego korozyjnego oddziaływania środowiska. Produktami frettingu są cząstki zawierające się najczęściej w przedziale $0,01 \div 0,1 \mu\text{m}$, które w połączeniu z organizmem wchodzi w reakcje z otaczającymi je komórkami. Bardzo ważnym następstwem frettingu, obok ściernych produktów zużycia, jest powstawanie wgłębień (jamek) na powierzchni. Mogą to być drobne wgłębienia (gdy produkty wydostają się ze strefy styku) i małe głębokie otworki (gdy produkty nie mogą uchodzić). Charakter zniszczeń zależy od liczby cykli, ilości produktów zużycia, amplitudy, obciążenia i wilgotności. Bezpośrednią przyczyną występowania frettingu jest oddziaływanie mechaniczne pomiędzy kontaktującymi się elementami implantów. Cechą charakterystyczną tego oddziaływania są silne wpływy korozyjne, towarzyszące wszystkim stadiom niszczenia.



Rys. 3. Obraz przedstawiający zużycie przez Fetting elementów zespolenia płytkowego uzyskanego z mikroskopu skaningowego

Fig. 3. Image showing wear by fretting of the components of a plate fixation system, obtained from a scanning microscope

Analizując wyniki badań doświadczalnych (rys. 4) można zauważyć, że przy obciążeniu momentem zginającym, zmieniają się bardzo wyraźnie wartości przemieszczeń. Ilość zastosowanych płytek zespalających ma fundamentalny wpływ na jakość zrostu kostnego. Potwierdza się, że zmiana konfiguracji modelu z jedno- na wielopłytkowy, w znacznym stopniu wpływa na wartość przemieszczeń. Wykonanie zespolenia dwupłytkowego daje mniejsze przemieszczenia niż w zespoleniu jedнопłytkowym. W zespoleniach dwupłytkowych obserwuje się zdecydowanie mniejszy rozrzut wyników uzyskanych w dziesięciu kolejnych pomiarach. Charakterystyki mają charakter zbliżony do liniowego.



Rys. 4. Przemieszczenia odcinków kostnych zespolonych płytkami do zespołów żuchwy: a) jedną płytką, b) dwiema płytkami

Fig. 4. Displacement of bone fragments treated with mandibular plate fixtures: a) a single plate, b) two plates

PODSUMOWANIE

Wstępne wyniki badań wskazują na przechodzenie jonów metalu z powierzchni implantu do tkanki kostnej. Zaobserwowano również ogniska korozyjne na samych implantach. Związane jest to z występowaniem korozji zmęczeniowej wywołanej niskocyklicznymi obciążeniami zmiennymi, które przebiegają w środowisku aktywnym chemicznie, jakim jest żywy organizm.

Z przeprowadzonych badań wynika, że wprowadzenie zespolenia wielopłytkowego powoduje wzrost stabilności układu, a tym samym stwarza lepsze warunki dla zrostu kostnego. Jest to zgodne z danymi literaturowymi oraz znajduje potwierdzenie w wykonanych badaniach klinicznych. Wyniki badań przedstawione w niniejszej pracy wnoszą istotny wkład w poznanie procesów leczenia złamań kości żuchwy metodami stabilizacji minipłytkowej.

LITERATURA

1. Archibeck M., Jacobs J., Roebuck K., Glant T.: The Basic Science of Periprosthetic Osteolysis. *A Current Concepts Review. J.B.J.S.* 2000, 82-A, 1478-1489.
2. Chmielewski D., Górecki A.: Immunologiczne i mechaniczne aspekty obłuzowania endoprotez stawu biodrowego. Materiały II Sympozjum „Inżynieria Ortopedyczna i Protetyczna”. Białystok 1999, 383-387.
3. Hatton P. V., Brook I. M.: The role of electron microscopy in the evaluation of biomaterials. *European Microscopy and Analysis*, January 1998, 39-41.
4. Jastrzębski P., Sidun J., Dąbrowski J. R.: Ocena korozyjności implantów dokostnych w badaniach in vivo. W: Wybrane zagadnienia z inżynierii biomedycznej, pod. red. J. Dąbrowskiego, E. Sajewicza, J. Siduna. Białystok 2005, 17-26.
5. Krischak G.D., Gebhart F., Mohr W., Krivan V., Ignatiuk A., Bech A., Wachter N.J., Reuter P., Arand M., Kinzl L., Claus L.E.: Difference in metallic wear distribution released from commercially pure titanium compared with stainless steel plates. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2004, 124, 104 – 113.
6. Marciniak J.: Biomateriały w chirurgii kostnej. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2002.
7. Szymański A.: Biomineralizacja i biomateriały. PWN, Warszawa 1991.
8. Winner C., Gluch H.: Aseptic Loosening After CD Instrumentation in the Treatment of Scoliosis: A Report about Eight Cases. *Journal of Spinal Disorder* 1998, 11, 440-443.
9. Voggenreiter G., Leiting S., Brauer H., Leiting P., Majetschak M., Bardenheuer M., Obertache V.: Immuno – inflammatory tissue reaction to stainless – steel and titanium plates used for internal of long bones. *Biomaterials* 2003, 24, 247-257.
10. Zaffe D., Bertoldi C., Konsolo U.: Accumulation of aluminium in lamer bone after implantation of titanium plater, Ti – 6Al – 4V screws, hydroxyapatite granules. *Biomaterials* 2004, 25, 3837 – 3844.

BIOMECHANICAL ASPECTS OF DAMAGE TO FACIAL SKELETON FIXATION
MINIPLATES

Summary. Scientific research into mandibular fixation stems results from the necessity to introduce constant improvements into the methods of treatment. The choice of fixation method for a given case of damaged bone structure is of tremendous importance in the healing and rehabilitation of a patient. This work presents an

analysis of the biochemical aspects of a mandibular fixation technique which utilizes miniplates. Clinical practice indicates that the failure to select the proper methods of mechanical and biochemical fixation leads to anomalies in bone adhesion. Additionally, this work deals with issues regarding damage to the miniplates as well as perigraft reactions of the fixation system elements. Preliminary results indicate the occurrence of metal ion penetration from the implant surface into osseous tissue. Inflammatory focus on the implants themselves has also been observed, an issue related to corrosion fatigue caused by the low-cycle alternating pressures in a chemically active environment such as a living organism.

Key words: fixation biomechanics, mandibula, miniplates.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2011 jako projekt badawczy nr N N507 439834