

BADANIA PRZYCZYN USZKODZEŃ MINIPLYTEK TYTANOWYCH STOSOWANYCH W CHIRURGII SZCZĘKOWO- TWARZOWEJ

JAROSŁAW BIENIAŚ¹, BARBARA SUROWSKA^{1*}, PIOTR ŚWIEC²,
BOŻENA PAŁYSEWICZ², GRAŻYNA MAŚLANKO²,
TOMASZ TOMASZEWSKI²

¹ POLITECHNIKA LUBELSKA, KATEDRA INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ

² AKADEMIA MEDYCZNA W LUBLINIE,
KLINIKA CHIRURGII SZCZĘKOWO-TWARZOWEJ

* E-MAIL: B.SUROWSKA@POLLUB.PL

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę materiałową mini-
plytek tytanowych wykorzystywanych przy zabiegach
osteosyntezy kości twarzoczaszki w aspekcie zmian
struktury i warstwy wierzchniej materiału (określenie
przyczyn i rodzaju zużycia). Materiał badawczy stano-
wiły miniptytki tytanowe 2, 6, 10- oczkowe oraz 2, 4-
oczkowe z przerwą, stosowane przy zabiegach osteo-
syntezy kości, które: (a) usunięto po zakończeniu lecze-
nia lub (b) usunięto wcześniej z powodu uszkodzenia
(pęknięcia). Badane płytki wykonane były z czystego
technicznie tytanu-grade 2. Przeprowadzona analiza
materiałowa wskazuje na kilka możliwych czynników
wpływających na uszkodzenia - złamania miniptytek,
do których można zaliczyć: stan warstwy wierzchniej
z licznymi defektami stanowiącymi miejsca propaga-
cji i rozwoju pęknięć, stan naprężeń twarzo-czaszki,
możliwość występowania procesów zmęczeniowych
oraz zmiany w mikrostrukturze miniptytek tytanowych
spowodowane odkształcaniem mechanicznym.

Słowa kluczowe: biomateriały, tytan, osteosynteza,
miniptytki, chirurgia szczękowa

[Inżynieria Biomateriałów, 74, (2008), 2-5]

Wprowadzenie

Zastosowanie materiałów implantacyjnych ma na celu
przywrócenie funkcji i sprawności działania uszkodzonego
narządu z zachowaniem jego kształtu anatomicznego [1].
Jedną z podstawowych grup biomateriałów mających duże
znaczenie w medycynie jest tytan i jego stopy. Warunkuje
to korzystny kompleks właściwości mechanicznych, bio-
przyswajalności oraz odporności korozyjnej [1,2]. Istotnym
i specyficznym zastosowaniem tytanu są mikro i miniptytki
wykorzystywane w chirurgii szczękowo-twarzowej m.in.
w rekonstrukcji i osteosyntezie przemieszczonych odłamów
kostnych szczęki i żuchwy [3-7]. Głównym zadaniem płytek
jest zbliżenie odłamów kostnych oraz zapewnienie ich sta-
bilnego unieruchomienia. Metody leczenia chirurgicznego
z wykorzystaniem płytek tytanowych skracają czas reha-
biliteracji pooperacyjnej oraz przyczyniają się do utrzymania
odpowiedniego stanu higieny jamy ustnej [7].

Podczas leczenia osteosyntezą mikro i miniptytkową
odnotowuje się jednak przypadki powikłań w postaci pęknięć
i złamań płytek. Uszkodzenie elementu zespalającego ozna-
cza niejednokrotnie konieczność reoperacji, co powoduje
dodatkowy dyskomfort dla pacjenta.

THE STUDY OF FRACTURES IN TITANIUM MINIPLATES USED IN RECONSTRUCTIVE JAW AND FACE SURGERY

JAROSŁAW BIENIAŚ¹, BARBARA SUROWSKA^{1*}, PIOTR ŚWIEC²,
BOŻENA PAŁYSEWICZ², GRAŻYNA MAŚLANKO²,
TOMASZ TOMASZEWSKI²

¹ DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE,
LUBLIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

² DEPARTMENT OF MAXILLOFACIAL SURGERY,
MEDICAL UNIVERSITY OF LUBLIN

* E-MAIL: B.SUROWSKA@POLLUB.PL

Abstract

The study presents the material analysis of
miniplates used during the osteosynthesis of the
face from the aspect of structural and surface layer
change of material (establishment of reasons and
type of wear). The material analysed were 2, 6,
10- hole and 2, 4-hole (with interval) titanium mini-
plates used in bone osteosynthesis, which: (a) were
removed once the treatment has been completed or
(b) were removed before the completion of the treat-
ment because of a damage (fractures). The plates
were made of commercially pure titanium-grade 2.
The analysis indicates a few possible factors caus-
ing the damages - fractures of the miniplates, which
include: the condition of the surface layer with visible
defects, which are the centres of propagation and the
development of fractures, the condition of facial stress,
the possibility of fatigue processes as well as the
changes in the microstructure of titanium miniplates
caused by mechanical deformation.

Keywords: biomaterials, titanium, osteosynthesis,
miniplates, maxillofacial surgery

[Engineering of Biomaterials, 74, (2008), 2-5]

Introduction

Implant materials are used in reconstructing the functions
and efficiency of damaged organ, imitating its anatomical
shape. Titanium and its alloys are one of the basic groups
of biomaterials used in medicine. It constitutes the set
of high mechanical properties, biocompatibility and
corrosion resistance [1,2]. Microplates and miniplates are
frequently applied in jaw and face surgery, for example
in reconstruction and osteosynthesis of relocated bone
fragments of lower and upper jaw [3-7]. The main role
of miniplates is joining and stabilizing fixation of
fragments of fractured bone. The surgical treatment
approaches with titanium miniplates shorten the time of
postoperative rehabilitation and ensure the appropriate
condition of oral cavity hygiene [7].

However, during the micro and miniplate osteosynthesis
treatment, rare complications can be observed involv-
ing fractures and cracks in applied plates. The fracture
of combining element frequently signifies the necessity of
subsequent operation, which may cause additional discom-
fort of the patient.

W pracy przedstawiono analizę materiałową miniplatek tytanowych wykorzystywanych przy zabiegach osteosyntezy kości twarzoczaszki w aspekcie zmian struktury i warstwy wierzchniej materiału (określenie przyczyn i rodzaju zużycia).

Materiał i metody

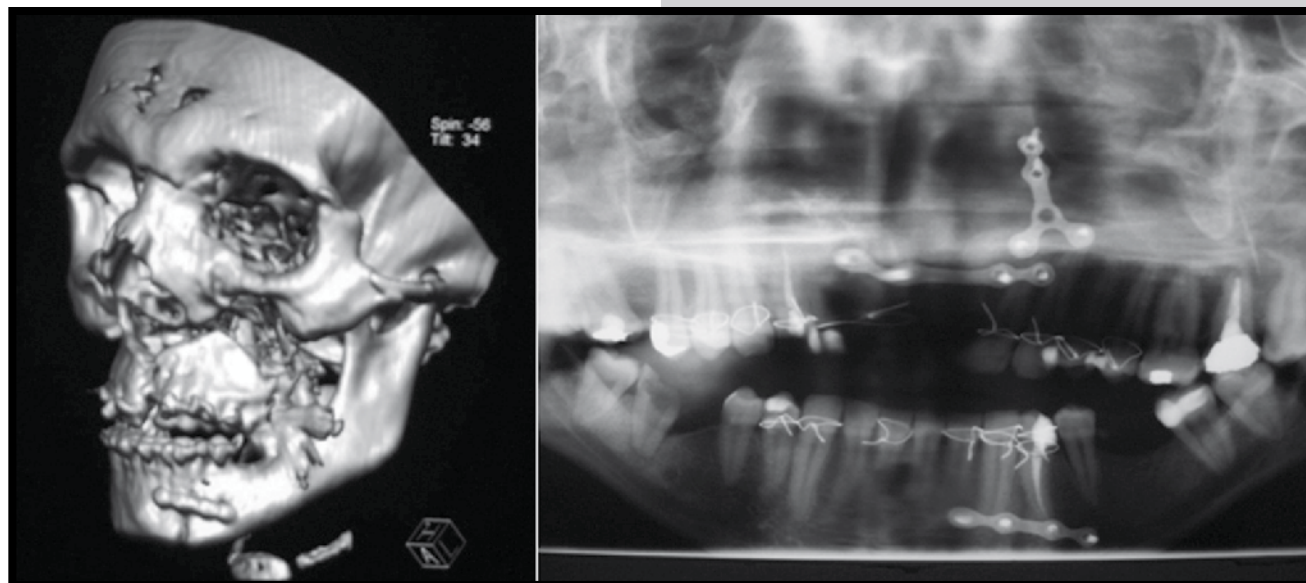
Materiał badawczy stanowiły miniplateki tytanowe 2, 6, 10-oczkowe oraz 2, 4-oczkowe z przerwą, stosowane przy zabiegach osteosyntezy kości, które: (a) usunięto po zakończeniu leczenia lub (b) usunięto wcześniej z powodu uszkodzenia (pęknięcia). Badane płytki wykonane były z czystego technicznie tytanu-*grade 2* (producent: KLS Martin, Germany; wg. ASTM F136), dla którego moduł Younga wynosi 105 GPa, a wytrzymałość na rozciąganie R_m min. 350 MPa.

Analizę materiałową przeprowadzono z wykorzystaniem mikroskopu optycznego (ZEISS), mikrotwardościomierza Hanemanna (ZEISS) oraz elektronowego mikroskopu skaningowego (LEO 1430VP).

Wyniki i dyskusja

Podczas zabiegu osteosyntezy miniplatekowej uszkodzonego narządu istnieje konieczność indywidualnego dostosowania miniplateki tytanowej do anatomicznej budowy kości. Kształtowanie miniplateki może powodować zmiany stanu warstwy wierzchniej materiału implantu (powstawanie zarodków mikropęknięć) oraz zmiany w mikrostrukturze.

Mikro i miniplateki tytanowe wykorzystywane są w złamaniach trzonu, kąta, gałęzi i wyrostków żuchwy, w bezzębiu i licznych brakach zębowych. Na RYS. 1 przedstawiono przykładowe zastosowanie płytek.



RYS. 1. Miniplateki w rekonstrukcji i osteosyntezie kości twarzoczaszki.
FIG. 1. Miniplates in facial reconstruction and osteosynthesis.

Mikrostruktura miniplateki tytanowej to struktura jednofazowa α -Ti z widocznymi licznymi bliźniakami (RYS. 2a). W miejscach odkształconych (dostosowywanie kształtu miniplateki) odnotowano duży stopień umocnienia materiału (RYS. 2b), gdzie następuje wzrost mikrotwardości ($\sim 230 \pm 16$ HV₀₀₅) w stosunku do obszarów o niezdeformowanej strukturze ($\sim 180 \pm 5$ HV₀₀₅). Zaobserwowano także występowanie mikropęknięć (RYS. 2c), które można wiązać z odkształcaniem płytek, a także stanem warstwy wierzchniej materiału.

The study presents the material analysis of miniplates used during the osteosynthesis of the face from the aspect of structural and surface layer change of material (determination of reasons and type of wear).

Materials and methods

The material analysed were 2, 6, 10-hole and 2, 4-hole (with interval) titanium miniplates used in bone osteosynthesis, which: (a) were removed once the treatment has been completed or (b) were removed before the completion of the treatment because of a damage (fractures). The plates were made of commercially pure titanium-*grade 2* (KLS Martin, Germany; ASTM F136), for which Young modulus is 105 MPa and tensile strength R_m min. 350 MPa.

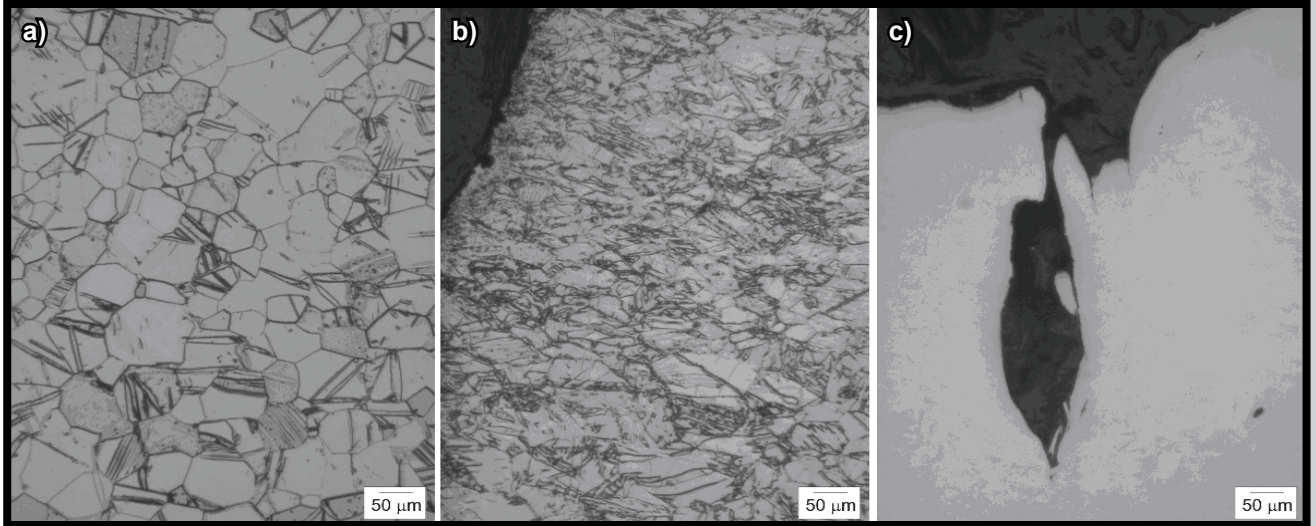
Material analysis was conducted with the use of optical microscope (ZEISS), Hanemann microhardness tester (ZEISS) and scanning electron microscope (LEO 1430VP).

Results and discussion

Titanium miniplates which are used during the procedure of osteosynthesis of a damaged organ need to be designed accordingly to the anatomical shape of the bone. The process of forming the miniplate may lead to the change in the surface layer of the implant material (creation of the centre of microcracks) as well as to the change of microstructure.

Titanium micro and miniplates are used in the treatment of the fractures of shafts, angles, ramuses and processes of mandibula, in treating toothlessness and multiple dental losses. FIG. 1 presents exemplary application of miniplates.

Microstructure of titanium miniplate is single-phase α -Ti with visible twins (FIG. 2a). In deformed areas (formation of the miniplate), considerable strain hardening has been observed (FIG. 2b), with the increase in microhardness ($\sim 230 \pm 16$ HV₀₀₅) compared to the undeformed areas ($\sim 180 \pm 5$ HV₀₀₅). Formation of microcracks has also been observed (FIG. 2c), which can be caused by miniplate deformation as well as the condition of surface layer of the material.

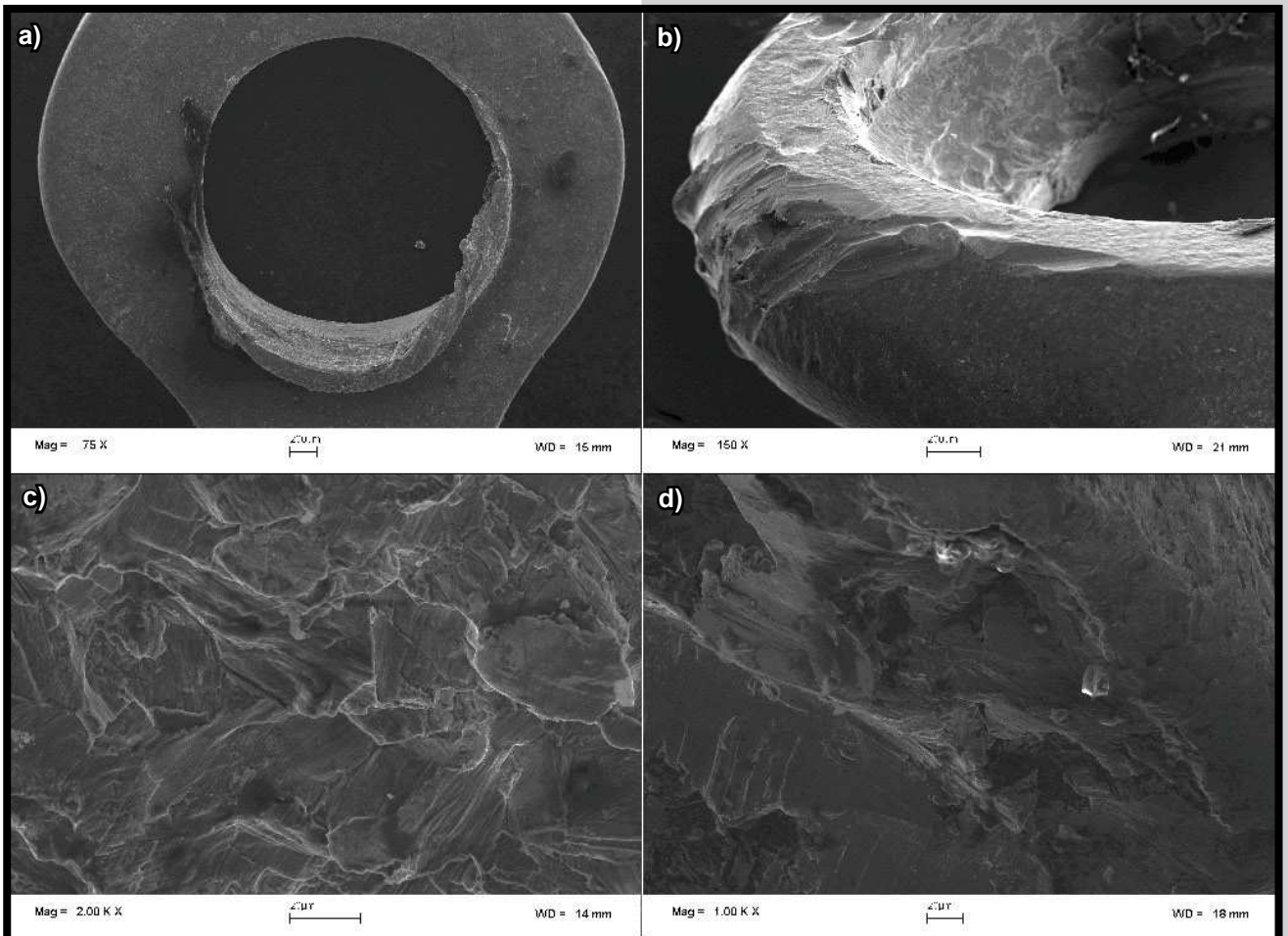


RYS. 2. Mikrostruktura miniplatki tytanowej (a), mikrostruktura obszaru odkształconego (b), pęknięcie w miniplatce tytanowej (c).

FIG. 2. Microstructure of titanium miniplate (a), microstructure of deformed area (b), a crack in titanium miniplate (c).

Analiza SEM powierzchni miniplatek usuniętych z organizmu pacjenta wskazuje na obecność na ich powierzchni licznych deformacji w postaci odkształceń plastycznych i zarysowań (RYS. 3a, 3b). Prawdopodobnie powstały one na skutek montażu lub demontażu implantu w czasie zabiegu. Deformacja powierzchni materiału miniplatki powodować może powstawanie lokalnych zarodków i „łatwych dróg” pęknięć, co prowadzi do przedwczesnego zniszczenia materiału i pozbawienia miniplatki jej podstawowej funkcji.

SEM analysis of the surface of miniplates which were removed from the organism of the patient suggests the presence of numerous plastic deformations and scratches (FIG. 3a, 3b). They were created as a result of assembly or disassembly during the procedure. Surface deformation of the material may cause local centres and “easy way” fractures, which cause premature wear of the material and deprives the miniplate of its basic function.



RYS. 3. Deformacje powierzchni miniplatek (a, b); mikrostruktura przelomów miniplatek (c, d).

FIG. 3. Deformation of the surface of miniplates (a, b); microstructure of fractures of miniplates (c, d).

Obserwacje SEM przełomów miniplatek tytanowych wskazują na ich mieszaną budowę, z występującymi strefami pęknięcia plastycznego i kruchego (RYS. 3c, 3d). Na powierzchni przełomów widoczne są wgłębienia i wypukłości charakterystyczne dla złomów plastycznych oraz uskoki i pęknięcia po granicach ziaren typowe dla pęknięcia kruchego.

Fizjologiczne funkcje jamy ustnej takie jak przyjmowanie pokarmów, polykanie, wydawanie dźwięków wiążą się z ruchem całego układu stomatognatycznego, a tym samym występowaniem złożonego stanu naprężeń (obciążenia statyczne i dynamiczne).

Szeroką analizę wytrzymałościową osteosyntezy miniplatek po urazach żuchwy, stanowiących 60% wszystkich złamań części twarzowej przeprowadziła Kromka [7]. Istotny wpływ na stan naprężeń miniplatek ma miejsce występowania złamania, typ złamania (proste, skośne), ilość i rodzaj użytych miniplatek oraz sposób ich umieszczenia. W przypadku złamań bródki wartość naprężeń w miniplatekach zespalających waha się w granicach 32-91 MPa, a dla złamań trzonu żuchwy od 78 do 240 MPa. Analiza złamań trzonu żuchwy w okolicy zębów przedtrzonowych i trzonowych wskazuje na występowanie w płytach naprężeń na poziomie 98-145 MPa. Natomiast w przypadku złamania wyrostka kłykciowego wynoszą one 55-181 MPa. Miejscem o największej koncentracji naprężeń w miniplatekach jest obszar leżący na linii złamania. Autorka stwierdza również, że stosowanie miniplatek ze stopu kobaltu, powoduje w porównaniu z tytanowymi wzrost naprężeń w elementach zespalających oraz spadek maksymalnej wartości odkształceń w kości żuchwy [7].

Podsumowanie

Stosowanie miniplatek tytanowych w chirurgii szczękowo-twarzowej zapewnia prawidłowe leczenie pacjentów wymagających rekonstrukcji bądź osteosyntezy uszkodzonej kości. W warunkach klinicznych aplikacja miniplatek jest niejednokrotnie skomplikowana, szczególną uwagę zwraca się na medyczną stronę zabiegu, nie uwzględniając ingerencji w materiał implantacyjny.

Przeprowadzona analiza materiałowa wskazuje na kilka możliwych czynników wpływających na uszkodzenia – złamania miniplatek, do których można zaliczyć: stan warstwy wierzchniej z licznymi defektami stanowiącymi miejsca propagacji i rozwoju pęknięć, stan naprężeń twarzo-czaszki, możliwość występowania procesów zmęczeniowych oraz zmiany w mikrostrukturze miniplatek tytanowych wprowadzone odkształcaniem mechanicznym. Uszkodzenia prowadzą do obniżenia trwałości i funkcjonalności układu miniplatek-kość, są przyczyną powikłań, a w związku z tym stanowią istotny problem terapeutyczny.

SEM observations of the miniplate fractures indicate their mixed structure with areas of plastic and brittle fracture (FIG. 3c, 3d). Pits and cambers, characteristic to plastic fractures, are visible on the fractures while the faults and intercrystalline cracks are typical of brittle fractures.

Physiological functions of oral cavity such as alimentation, swallowing, making speech, which are connected to the movement of the whole stomatognathic system in addition to the occurrence of complex systems of stresses (static and dynamic).

Kromka has described wide strength analysis of miniplate osteosynthesis after the mandible injuries, which constitute 60% of all fractures of facial skeleton [7]. Localization of fractures, the type of fracture (simple, oblique), the kind and quantity of used miniplates, their localization have a big influence on the systems of stresses. In case of mandible fractures, the value of stresses ranges from 32-91 MPa, while in the case of mandible shaft - from 78 to 240 MPa. The analysis of mandible shaft fractures in the proximity of molar and premolar teeth suggests the presence of miniplate stress from 98 to 145 MPa. In the case of mandible condyle fracture it ranges from 55 to 181 MPa. The area of greatest concentration of miniplate stresses is the area surrounding the location of fracture. The author also concludes that the use of cobalt miniplates causes the stress increase in combining elements and the loss of maximum deformation in the mandible, in comparison to titanium miniplates [7].

Summary

The use of miniplates in facial surgery ensures proper treatment of the patients requiring reconstruction or osteosynthesis of the damaged bone. In clinical conditions, application of the miniplate is often complicated. Special attention is devoted to the medical aspect of the procedure and not to the material of the implant.

The analysis indicates a few possible factors causing the damages - fractures of the miniplates, which include: the condition of the surface layer with visible defects, which are the centres of propagation and the development of fractures, the condition of facial stress, the possibility of fatigue processes as well as the changes in the microstructure of titanium miniplates caused by mechanical deformation. The damages lead to the decrease in durability and functionality of the miniplate-bone system. Moreover, they are the reason for complications and therefore, they are the essential therapeutic problem.

Piśmiennictwo

- [1] Surowska B., Weroński A.: Struktura i właściwości biomateriałów. Wyd. PL, Lublin 1990.
- [2] Lautenschlager E.P., Monaghan P.: Titanium and titanium alloys as dental materials. *Int Dent J* 1993;43:245-253.
- [3] Acero J., Calderon J., Salmeron J., Verdaguer J.J., Concejo C., Somacarrera M. L.: The behaviour of titanium as a biomaterial: microscopy study of plates and surrounding tissues in facial osteosynthesis. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 1999; 27:117-123.
- [4] Douglas K.: Application of reconstruction plates to the mandible. *Operative Techniques in Otolaryngology - Head and Neck Surgery* 1995; 6:89-96.

References

- [5] Feller K.U., Richter G., Schneider M., Eckelt U.: Combination of microplate and miniplate for osteosynthesis of mandibular fractures: an experimental study. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2002; 31:78-83.
- [6] Shaw R.J., Kanatas A.N., Lowe D., Brown J.S., Rogers S.N., Vaughan E.D.: Comparison of miniplates and reconstruction plates in mandibular reconstruction. *Head Neck* 2004; 26:474.
- [7] Kromka M.: Analiza wytrzymałościowa osteosyntezy mini i makroplatek urazów żuchwy. Rozprawa doktorska, Pol. Krak., Kraków 2005.