



## Implanty w technologii SLS (wyprodukowane metodą Selektynnego Spiekania Laserowego): wyniki 2-letniego prospektywnego badania wieloośrodkowego.

### Selective laser sintering (SLS) implants: results from a 2-year prospective multicenter study

Francesco Mangano<sup>1</sup>, Dario Galletta<sup>2</sup>, Paolo Mastrangelo<sup>3</sup>, Giuseppe Luongo<sup>4</sup>, Michele Figliuzzi<sup>5</sup>, Carlo Mangano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dental School, University of Insubria, Varese, Italy

<sup>2</sup> Private Practice, Messina, Italy

<sup>3</sup> Private Practice, Bari, Italy

<sup>4</sup> Dental School, University Federico II, Naples Italy

<sup>5</sup> Dental School, University of Magna Grecia, Catanzaro, Italy

#### Słowa kluczowe:

implanty zębowe, uzupełnianie pojedynczych braków zębowych, SLS - Selektynne Spiekanie Laserowe, przetwanie implantu, sukces kompleksu implant-korona

#### Key words:

dental implants, single-tooth restoration, selective laser sintering, implant survival, implant-crown success

## Wprowadzenie

Implanty zębowe to realna opcja uzupełnienia brakujących zębów u pacjentów całkowicie i częściowo bezzębnych, szczególnie w przypadku pojedynczych braków zębowych [1]. Dotychczas implanty zębowe były tradycyjnie produkowane poprzez obróbkę maszynową prętów tytanowych, wraz z następującą po niej obróbką dodatkową, polegającą np. na modyfikacji powierzchni lub nakładaniu powłok [2,3]. Modyfikacje te uzasadnione są tym, że powierzchnia ta jest pierwszą częścią implantu wchodzącą w interakcję z płynami ustrojowymi i może potencjalnie zmienić sekwencję zdarzeń, która prowadzi do gojenia się kości [3,4]. Główną zaletą modyfikacji powierzchni jest potencjalne skrócenie czasu leczenia uzupełnieniami protetycznymi, które można obciążyć wcześniej niż jest to zalecane przez protokoły [4]. Co więcej, chropowate powierzchnie wykazują lepszą adsorpcję białek z płynów ustrojowych i powodują lepszą reakcję kości, ze względu na swą zdolność wpływania na zachowanie się komórek [4]. Szereg badań in vitro wskazuje na to, że w po-

## Streszczenie

**Wprowadzenie:** Selektynne Spiekanie Laserowe (SLS) to oszczędzająca czas i koszty procedura, w której wiązka laserowa o wysokiej mocy skupiana jest na drobnych cząstkach metalu, stapiając je ze sobą zgodnie z zaprogramowanymi wcześniej plikami w komputerowym systemie CAD (Computer Assisted Design), tworząc tym samym cienką warstwę metalu. Nakładanie kolejnych warstw nadaje pożądaną kształt trójwymiarowej formie (3D), która wymaga minimalnej obróbki dodatkowej.

**Cel:** To prospektywne, wieloośrodkowe badanie ocenia stopień przetrwania i sukces kompleksu implant-korona przy pojedynczym tytanowym implancie zębowym, wykonanym za pomocą SLS (TiXosR, Leader Novaxa, Mediolan, Włochy), po 2 latach funkcjonalnego obciążenia.

**Materiały i metody:** Podczas zaplanowanego badania kontrolnego po 2 latach od wszczepienia implantu, dokonano oceny szeregu parametrów klinicznych, radiograficznych i protetycznych. Kryteria sukcesu kompleksu implant-korona obejmowały brak bólu, nadwrażliwości, ropienia, wysięku; brak klinicznie wykrywalnej mobilności implantu; brak nieprzerwanych przejaśnień na radiogramie; odległość między krawędzią implantu a pierwszym widocznym kontaktem z kością (DIB) < 1,5 mm; brak powikłań protetycznych.

**Wyniki:** U 129 pacjentów (68 mężczyzn, 61 kobiet, w wieku 24-75 lat) wszczepiono 175 implantów (90 w szczękę, 85 w żuchwie). Jeśli chodzi o umiejscowienie wszczepu, zastosowano implanty w odcinku przednim (n = 56) i tylnym (n = 119). Wszystkie wypełnienia protetyczne były pojedynczymi koronami. Po 2 latach funkcjonalnego obciążenia, ogólny współczynnik przetrwania implantów wyniósł 98,8%, przy 2 utratach implantu (szczeka: 98,8%; żuchwa: 98,8%). Średnia odległość między krawędzią implantu i pierwszym widocznym kontaktem z kością (DIB) wyniosła 0,5 mm (± 0,2). Wśród implantów, które przetrwały (173), 6 nie spełniło kryteriów sukcesu, co dało współczynnik sukcesu kompleksu implant-korona na poziomie 96,5%.

**Wnioski:** Implanty otrzymywane techniką Selektynnego Spiekania Laserowego (SLS) wydają się reprezentować ważną opcję leczenia przy uzupełnianiu pojedynczych braków zębowych.

## Abstract

**Background:** Selective laser sintering (SLS) is a timesaving and costless forming procedure in which a high power laser beam is focused on a metal powder bed and programmed to fuse particles according to a computer-assisted-design (CAD) file, thus generating a thin metal layer. Apposition of subsequent layers gives shape to a desired three-dimensional (3D) form with the need of minimal post-processing requirements.

**Aim:** This prospective multicenter study evaluated the survival rate and the implant-crown success of single-tooth, SLS titanium dental implants (TiXosR, Leader Novaxa, Milan, Italy), after 2-year of functional loading.

**Materials and methods:** At the 2-year scheduled follow-up examination, several clinical, radiographic and prosthetic parameters were assessed. Success criteria included absence of pain, sensitivity, suppuration, exudation; absence of clinically detectable implant mobility; absence of continuous peri-implant radiolucency; distance between the implant shoulder and the first visible bone contact (DIB) < 1.5 mm; absence of prosthetic complications.

**Results:** 175 implants (90 maxilla, 85 mandible) were placed in 129 patients (68 males, 61 females; aged between 24-75 years). The sites included anterior (n=56) and posterior (n=119) implants. The prosthetic restorations were all single crowns. After 2 years of functional loading, the overall implant survival rate was 98.8%, with two implant losses (maxilla: 98.8%; mandible: 98.8%). The mean distance between the implant shoulder and the first visible bone contact (DIB) was 0.5 mm (± 0.2). Among the surviving implants (173), 6 did not fulfil success criteria, for an implant-crown success of 96.5%.

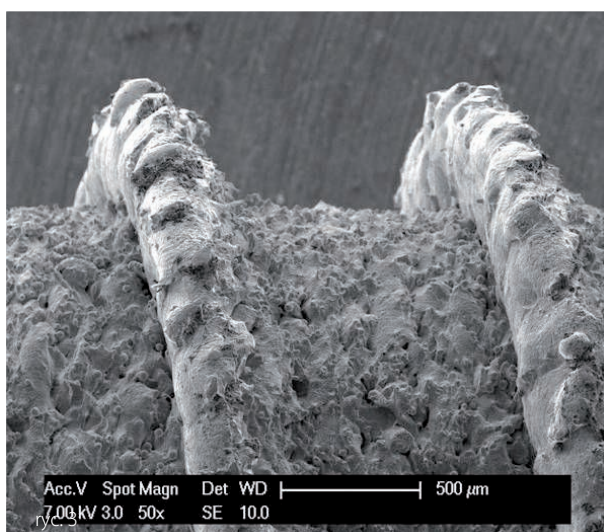
**Conclusions:** Selective laser sintering (SLS) implants seem to represent a valid treatment option for rehabilitation of single-tooth gaps.



Ryc. 1 Implant SLS.

Ryc. 2 Potężny system lasera włóknowego Yb (iterbowego) używany do produkcji implantów SLS.

równaniu do gładkich powierzchni, powierzchnie chropowate powodują lepszą początkową odpowiedź komórkową, co obejmuje organizację cytoszkieletu i różnicowanie komórkowe przy odkładaniu się macierzy [3,4]. Ponadto z histologicznego punktu widzenia, wyraźnie wykazano że chropowate powierzchnie skutecznie wspierają lepszą i szybszą osteointegrację w porównaniu do powierzchni gładkich [4,5,6]. Z tego powodu na rynek wprowadzono szereg technik modyfikacji powierzchni, takich jak piaskowanie, wytrawianie kwasem, oczyszczanie strumieniowo-ścierne, anodowanie, nieciągłe osadzanie kryształów wapniowo-fosforanowych, a także modyfikacje chemiczne [2, 3, 7]. Liczne badania kliniczne wykazały doskonale długoterminowe przetrwanie i współczynnik sukcesu przy chropowatej powierzchni implantów



Ryc. 3 Szczegółowy obraz z elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM) porowatej powierzchni implantu SLS (50x).

[8,9]. Jednakże wszelkie konwencjonalne metody stosowane przy produkcji i obróbce implantów zębowych dają efekt w postaci struktury tytanowej o dużej gęstości z powierzchnią chropowatą w skali mikro- lub nano; przy użyciu konwencjonalnych metod nie jest możliwe wyprodukowanie implantów o strukturze stopniowanej funkcjonalności, z gradientem porowatości prostopadłym do osi podłużnej, dużą porowatością powierzchni

i wysoką gęstością rdzenia [7, 10-13]. W ciągu ostatnich kilku lat nastąpił znaczny postęp w rozwoju metod Szybkiego Wykonywania Prototypów (ang. Rapid Prototyping - RP), w tym metody Selektynego Spiekania Laserowego (SLS) [10-13]. Selektynne Spiekanie Laserowe (SLS) to oszczędzająca czas i mało kosztowna procedura, w której wiązka laserowa o wysokiej mocy skupiana jest na drobnych cząstkach metalu, stapiając je ze sobą zgodnie z zaprogramowanymi wcześniej plikami w komputerowym systemie CAD (Computer Assisted Design), tworząc tym samym cienką warstwę metalu. Nakładanie kolejnych warstw nadaje pożądaną kształt trójwymiarowej formie 3D, która wymaga minimalnej obróbki dodatkowej [10-13]. Za pomocą SLS, implanty zębowe tworzone są warstwa po warstwie, przy użyciu proszku tytanowego, grzejników promiennikowych oraz lasera sterowanego komputerowo. SLS pozwala na produkcję implantów tytanowych o stopniowanej funkcjonalności, z gradientem porowatości prostopadłym do osi podłużnej [10-13]; ponadto zapewniona jest porowata struktura powierzchni, która poprawia zdolność wrostania kości [10-13]. To perspektywne, wielośrodkowe badanie ocenia stopień przetrwania i sukces kompleksu implant - korona przy pojedynczym tytanowym implancie zębowym, wykonanym za pomocą SLS (TiXosR, Leader Novaxa, Mediolan, Włochy), po 2 latach funkcjonalnego obciążenia.

## Materiały i Metody

### Dobór pacjentów

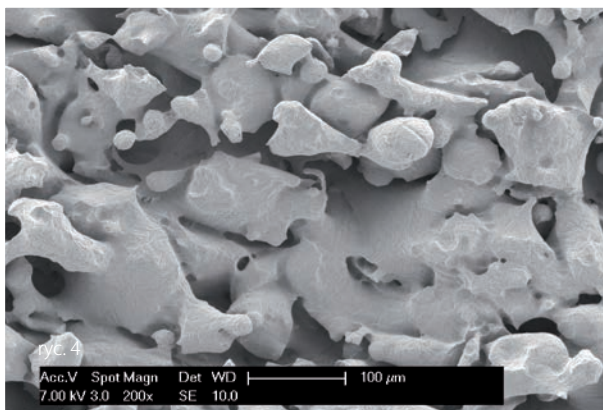
W okresie od czerwca 2009 do czerwca 2011, wszyscy pacjenci kierowani na leczenie do 7 różnych klinik, byli rozpatrywani pod kątem włączenia w niniejsze badanie.

### Kryteria włączenia były następujące:

- wiek > 18 lat,
- dobry stan zdrowia ogólny i jamy ustnej,
- pojedynczy brak zębów w przedniej/tylnej okolicy szczęki/żuchwy
- co najmniej 6 tygodni gojenia po ekstrakcji zęba,
- obecność uzębienia w przeciwległym łuku zębowym, w celu uzyskania kontaktu w zgryzie.

### Kryteria wykluczenia obejmowały:

- złą higienę jamy ustnej,



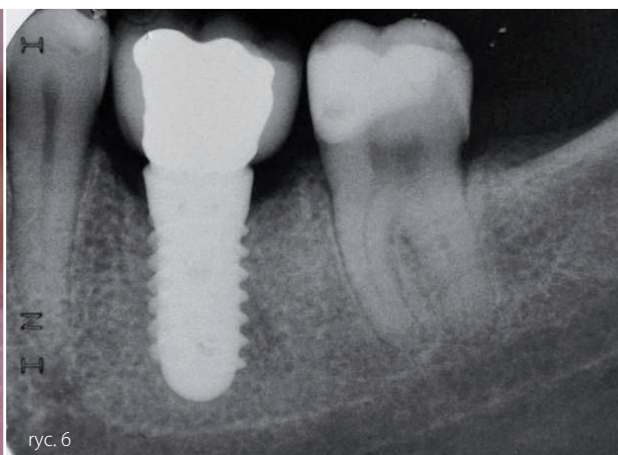
Ryc. 4 Porowata powierzchnia implantu pod większym powiększeniem (200 x).

- aktywne infekcje przyzębia lub inne schorzenia jamy ustnej,
- objętość kości niewystarczająca do umieszczenia implantu co najmniej o długości 8,0 mm/średnicy 3,3 mm,
- niekontrolowana cukrzyca,
- ogólnoustrojowe zaburzenia odporności,
- nałogowe palenie tytoniu (>15 papierosów dziennie).

Pacjenci zostali powiadomieni, że palenie tytoniu jest związane ze zwiększonym ryzykiem niepowodzenia implantacji. Każdemu z pacjentów wyjaśniono protokół badania oraz uzyskano pisemną zgodę. Protokół badania został zatwierdzony przez Lokalną Komisję Etyczną i został wykonany zgodnie z zasadami przedstawionymi w Deklaracji Helsińskiej Światowego Stowarzyszenia Lekarzy w zakresie eksperymentów z udziałem ludzi, nowelizacja z 2008 roku.



Ryc. 5 Obraz kliniczny odbudowy pojedynczego zęba (pierwszy zęb trzonowy żuchwy) 2 lata po obciążeniu protezą.  
Ryc. 6 Obraz radiologiczny odbudowy pojedynczego zęba, 2 lata po obciążeniu protezą.



zostałe po procesie obróbki, próbka została poddana działaniu ultradźwięków przez 5 minut w wodzie destylowanej w temperaturze 25°C, zanurzona w wodorotlenku sodu (20 g/L) i nadtlenu wodoru (20 g/L) w temperaturze 80°C przez 30 minut, a następnie ponownie poddana działaniu ultradźwięków przez 5 minut w wodzie destylowanej. Wytrawianie kwasem przeprowadzono poprzez zanurzenie próbek w mieszaninie 50% kwasu szczawiowego i 50% kwasu maleinowego w temperaturze 80°C przez 45 minut, po czym przemyto przez 5 minut w wodzie destylowanej w łaźni ultradźwiękowej. Topografia powierzchni implantów SLS nie posiadała wyraźnego ukierunkowania. Bezpośrednie przygotowanie laserowe dało rezultat w postaci powierzchni implantu o średniej chropowatości  $\pm$  SD (odchylenie standardowe) wartości bezwzględnych wszystkich punktów profilu, średniej kwadratowej wartości wszystkich punktów i średniej wartości bezwzględnych wysokości pięciu najwyższych wypukłości i głębokości pięciu najgłębszych wgłębień wynoszących odpowiednio  $66,8 \pm 6,6$  mikrometra,  $77,6 \pm 11,1$  mikrometra i  $358,3 \pm 101,9$  mikrometra (Ryc. 3-4).

### Przygotowanie przedoperacyjne

U każdego z pacjentów przeprowadzono pełne badanie tkanek twardych i miękkich jamy ustnej. Podstawą badania wstępnego były panoramiczne zdjęcia rentgenowskie. Przygotowania przedoperacyjne obejmowały ocenę bezzębnego wyrostka zębobólowego przy użyciu wycisków i wax-upów diagnostycznych. W razie konieczności, do ostatecznego badania wykorzystywano skany z tomografii komputerowej (CT). Zestawy danych CT uzyskano przy użyciu nowoczesnego tomografu wiązki

### Produkcja implantów

Implanty SLS (TiXosR, Leader Novaxa, Mediolan, Włochy; Ryc. 1) zostały wykonane z proszku stopu przejściowego (Ti-6Al-4V), o rozmiarze cząstek 25 do 45 mikrometrów, jako materiał podstawowy. Obróbkę przeprowadzono w atmosferze argonu za pomocą potężnego systemu lasera włóknowego Yb (iterbowego) mogącego utworzyć objętość do 250 x 250 x 215 mm, używając długości fali 1,054 nanometrów przy ciągłej mocy 200 W, przy szybkości skanowania 7 metrów na sekundę; rozmiar plamki lasera wynosił 0,1 mm (Ryc. 2). Aby usunąć cząstki po-

stożkowej, a następnie przekazano w formacie DICOM do oprogramowania nawigacji implantologicznej, w celu wykonania trójwymiarowej rekonstrukcji kości szczękowych. Dzięki temu oprogramowaniu nawigacyjnemu możliwa była prawidłowa ocena szerokości każdego miejsca wszczepu implantu, grubości i gęstości płytki korowej oraz kości gąbczastej, a także nierówności wyrostka zębobólowego. Na bazie tych informacji wykonano szablony chirurgiczne.

### Zabieg chirurgiczny

Znieczulenie miejscowe uzyskano w wyniku podania artykainy 4%, zawierającej 1:100 000 adrenaliny. Wykonano nacięcie dziąsła w miejscu wszczepu implantu. Środkowe i dalsze aspekty nacięcia zębodołowego połączono z dwoma nacięciami uwalniającymi. Pełnej grubości płaty zostały odchylone, odsłaniając łuk zębowy, następnie przygotowano miejsce wszczepu implantu za pomocą spiralnych wiertel o coraz większej średnicy (2,0 i 2,3 mm do umieszczenia implantu o średnicy 3,3 mm, 2,0, 2,6 i 2,8 mm do umieszczenia implantu o średnicy 3,75 mm, 2,0, 2,6 i 3,2 mm do umieszczenia implantu o średnicy 4,5 mm, dwa dodatkowe wiertła 3,8 i 4,2 mm zostały wykorzystane do przygotowania miejsca wszczepu dla implantów o średnicy 5.5 mm), przy stałym chłodzeniu. Implanty (TiXosR, Leader Novaxa, Mediolan, Włochy) umieszczono na poziomie szczytu kości. Płaty przemieszczono tak, by całkowicie pokryły implanty i zamocowano na swoim miejscu szwem przerywanym. Wszyscy pacjenci otrzymali antybiotyki doustne, amoksycylina + kwas klawulanowy, 2 g codziennie przez 6 dni; ból pooperacyjny kontrolowano przez podawanie 100 mg nimesulidu co 12 godzin przez 2 dni, poza tym pacjentów szczegółowo poinstruowano w zakresie higieny jamy ustnej, wraz z codziennym płukaniem ust 0,12% roztworem chlorheksydyny, przez 7 dni. Szwy usunięto po 8-10 dniach.

### Procedury protetyczne

Do wprowadzenia implantów wykorzystano technikę dwuetapową. Czas gojenia wynosił 2-3 miesiące w przypadku żuchwy i 3-4 miesiące w przypadku szczęki. Łączniki umieszczono dwa tygodnie po drugiej operacji, tak aby można było zastosować tymczasowe uzupełnienia akrylowe. Wszystkie uzupełnienia protetyczne były pojedynczymi koronami. Uzupełnienia tymczasowe pozostawiono na miejscu przez 3 miesiące i po tym okresie umieszczono uzupełnienia ostateczne. Wszystkie uzupełnienia ostateczne były metalowo-ceramiczne, osadzone za pomocą cementu cynkowo-fosforanowego lub cementu tlenkowo-cynkowo-eugenolowego (ZOE).

### Kliniczne badanie kontrolne

Podczas badania kontrolnego zaplanowanego na 2 lata po operacji, oceniono następujące parametry kliniczne dla każdego implantu: (1) obecność/brak bólu - nadwrażliwość; (2) obecność/brak ropienia - wysięk; (3) obecność/brak ruchomości implantu, testowane ręcznie za pomocą uchwytów dwóch lusterek stomatologicznych. Ponadto wykonano wewnątrzustne okółowierzchołkowe zdjęcia RTG dla każdego implantu na początku badania (od razu po założeniu implantu) i podczas badania kontrolnego po 2 latach. Zdjęcia rentgenowskie wykonano przy użyciu systemu pozycjonowania Rinn ze sztywną folią- źródło promieni rentgenowskich połączono z urządzeniem kierującym wiązkę, w celu osiągnięcia powtarzalnej geometrii ekspozycji. W przypadku każdego implantu użyto dostosowanych stabilizatorów w celu precyzyjnej zmiany pozycji i stabilizacji szablonu radiologicznego. Oceniono dwa parametry radiologiczne: (1) obecność/brak nieprzerwanych przejaśnień na radiogramie; (2) odległość między krawędzią implantu a pierwszym widocznym kontaktem z kością (DIB) w mm, mierzona za pomocą siatki optycznej. W przypadku

tej drugiej wartości, zarejestrowano zmiany poziomu wierzchołka kości po dwóch latach, jako zmiany w odległości od implantu do poziomu kości na środkowej i dalszej części implantu. Aby skorygować zniekształcenia wymiarowe, na aparacie rentgenowskim zmierzono widoczny wymiar każdego implantu, który następnie porównano z rzeczywistą długością implantu. i wreszcie, podczas sesji kontrolnej po 2 latach sprawdzano funkcjonowanie uzupełnienia. Oceniono statyczne i dynamiczne zware zgrzyzowe za pomocą standardowych papierków nagryzowych. Szczególną uwagę zwrócono na analizę powikłań protetycznych w połączeniu implant-łącznik (poluznienie śruby łącznika, złamanie łącznika); odnotowano też inne powikłania protetyczne

### Przetrawianie implantu oraz kryteria sukcesu kompleksu implant-korona

Przetrawianie implantu: implant był klasyfikowany jako „implant, który przetrwał” jeżeli wciąż dobrze funkcjonował w punkcie końcowym niniejszego badania. Utraty implantu obejmowały wszystkie kategorie niepowodzenia. Warunki, przy których występowało wskazanie do usunięcia implantu obejmowały brak osteointegracji, chroniczne infekcje okołointplantowe z bólem/ropieniem oraz utrata implantu na skutek przeciążenia mechanicznego. Niepowodzenia przy wszczepianiu implantów zostały podzielone na dwa typy: niepowodzenia wczesne (przed przykręceniem łącznika) i niepowodzenia późne (po przykręceniu łącznika). Sukces kompleksu implant-korona: kryteria sukcesu kompleksu implant-korona obejmowały brak bólu, nadwrażliwości, ropienia, wysięku; brak klinicznie wykrywalnej ruchomości implantu; brak nieprzerwanych przejaśnień na radiogramie; odległość między krawędzią implantu a pierwszym widocznym kontaktem z kością (DIB) < 1,5 mm; brak powikłań protetycznych.

### Wyniki

U 129 pacjentów (68 mężczyzn, 61 kobiet, w wieku 24-75 lat) wszczepiono 175 implantów (90 w szczęce, 85 w żuchwie) w 7 różnych ośrodkach klinicznych. Jeśli chodzi o umiejscowienie wszczepu, zastosowano implanty w odcinku przednim (n = 56) i tylny (n = 119). Po 2 latach funkcjonalnego obciążenia, ogólny współczynnik przetrwania implantów wyniósł 98,8% (Ryc. 5- 6), przy 2 utratach implantu (szczęka: 98,8%; żuchwa: 98,8%). Średnia odległość między krawędzią implantu i pierwszym widocznym kontaktem z kością (DIB) wyniosła 0,5 mm ( $\pm$  0,2). Wśród implantów, które przetrwały (173), 6 nie spełniło kryteriów sukcesu (3 implanty wykazały DIB > 1,5 mm po pierwszym roku funkcjonowania, a 3 implanty wykazały powikłania protetyczne, tj. poluznienie abutmentu), co dało współczynnik sukcesu kompleksu implant-korona na poziomie 96,5%.

### DYSKUSJA

SLS to nowa, ekscytująca technologia, która pozwala na produkcję implantów zębowych poprzez wyżarzanie mikrocząstek proszków metali w skupionej wiązce laserowej, na wzór generowanego komputerowo modelu trójwymiarowego 3D. Proces produkcyjny polega na indukowanym laserowo połączeniu mikrocząstek tytanu, w celu stworzenia, warstwa po warstwie, pożądanego obiektu [7,10-13]. Produkcja implantów zębowych za pomocą

techniki SLS ma pewne zalety, które mogą być bardzo przydatne w nowoczesnej implantologii jamy ustnej, szczególnie przy protokołach natychmiastowego obciążenia. Po pierwsze, SLS pozwala na wyprodukowanie implantów o stopniowanej elastyczności, zawierające gradient porowatości, od rdzenia wewnętrznego do powierzchni zewnętrznej [7, 10-13]. Powierzchnia zewnętrzna tego nowego, stopniowanego funkcjonalnie materiału, ma współczynnik sprężystości (77 GPa) bliższy okolicy otaczającej kość korową (10-26 GPa), co daje bardziej naturalny rozkład obciążenia naciskowego [7]. Wykazano również, że implanty SLS wykazują imponujące właściwości mechaniczne w zakresie opisywanego niższego zakresu właściwości dla kości gąbczastych u człowieka [7, 14]. Po drugie, SLS pozwala na stworzenie porowatej struktury, w której można kontrolować: porowatość, połączenia między porami, rozmiar, kształt i rozkład, co jest warunkiem szybkiego wrastania kości [7, 10-16]. Przy SLS możliwa jest kontrola porowatości poszczególnych warstw, a co za tym idzie modelu 3D, poprzez zmianę parametrów obróbki, takich jak moc lasera i moc szczytowa, średnica wiązki lasera, grubość warstwy, poziom kreskowania (lub odstęp skanowania), szybkość skanowania i strategia skanowania lub zmianę rozmiaru pierwotnych mikrocząstek tytanu [10-16]. Struktura porów połączonych ze sobą i wysoka porowatość implantów SLS mogą ułatwić unaczynienie i dyfuzję substancji odżywczych i gazów; wzajemne połączenia porów, jak również wielkość porów, odgrywają kluczową rolę przy wrastaniu kości, regulując wzrost i funkcje komórek, manipulując różnicowaniem się tkanek i optymalizując funkcje mechaniczne [10-15]. W istocie możliwy jest rozległy transport płynów ustrojowych przez porowate rusztowanie macierzy, co może wyzwać wrastanie kości, jeżeli pory są ze sobą połączone [10-15]. Co więcej, wysoce porowata mikrostruktura z połączonymi ze sobą sieciami porów, jest niezbędna dla zapewnienia przestrzennie jednolitej dystrybucji komórek, przeżycia komórek, proliferacji i migracji in vivo [10-15]. Podaje się, że aby wspomóc wrastanie kości, wymagane są pory wielkości od 100 do 400 mikrometrów. Porowata struktura powierzchni implantu SLS odpowiada tym założeniom. Biologiczne działanie implantów SLS zbadano in vivo na drodze badań histologicznych i histomorfometrycznych u ludzi [11,14]. Elektronowa mikroskopia transmisyjna wykazała koalescencję między zmineralizowaną tkanką a powierzchnią implantu modyfikowanego laserowo [12] zaś już na początku wykazano ulepszoną odpowiedź biomechaniczną przy SLS [14]. Szereg badań implantów pobranych od ludzi wykazał, że powierzchnia SLS jest w bliskim kontakcie z kością po 8 miesiącach in vivo [11,14]. W niniejszym badaniu klinicznym na 175 pojedynczych implantów zębowych wszczepionych u 129 pacjentów, stwierdzono 2-letni ogólny współczynnik przetrwania na poziomie 98,8% (szczeka: 98,8%; żuchwa: 98,8%). Stwierdzono tylko dwa przypadki utraty implantu (1 szczęki, 1 żuchwy). Po 2 latach obciążenia funkcjonalnego tylko 6 implantów nie spełniło kryteriów sukcesu (3 ze względu na powikłania biologiczne i 3 ze względu na powikłania

protetyczne), co dało współczynnik sukcesu kompleksu implant-korona na poziomie 96,5%. Podczas sesji kontrolnej po dwóch latach, stwierdzono minimalną resorpcję kości, przy średnim DIB wynoszącym 0,5 mm ( $\pm$  0,2). Wyniki te są zgodne z poprzednimi badaniami klinicznymi [7, 13, 16], w których implanty SLS były prawidłową opcją leczenia przy odbudowie u częściowo i całkowicie bezzębnych pacjentów.

### Wnioski

Implanty otrzymywane techniką Selektownego Spiekania Laserowego (SLS) wydają się reprezentować ważną opcję leczenia przy uzupełnianiu pojedynczych braków zębowych. SLS pozwala na produkcję stopniowanych funkcjonalnie implantów tytanowych o stosunkowo wysokiej porowatości powierzchni i wysokiej gęstości rdzenia: tego rodzaju modulacja może pozwalać na lepsze dostosowanie do obciążenia. Co więcej, SLS pozwala na stworzenie porowatej struktury, w której można kontrolować: porowatość, połączenia między porami, rozmiar, kształt i rozkład, co jest warunkiem szybkiego wrastania kości.

### Piśmiennictwo

- [1] JUNG R, ZEMBICA, PJETURSSON BE, ET AL. Systematic review of the survival rate and the incidence of biological, technical, and aesthetic complications of single crowns on implants reported in longitudinal studies with a mean follow-up of 5 years. *Clin Oral Implants Res*; 23 (Suppl. 6): 2-21, 2012.
- [2] SHALABI MM, GORTEMAKER A, VAN'T HOF MA, ET AL. Implant surface roughness and bone healing: a systematic review. *J Dent Res*; 85: 496-500, 2006.
- [3] WENNERBERG A, ALBREKTSSON T. Effects of titanium surface topography on bone integration: a systematic review. *Clin Oral Implants Res*;
- [4] (20 Suppl): 172-184, 2009. 4. BUSER D. Titanium for dental applications (II): implants with roughened surfaces. In: Brunette DM, Tengvall P, Textor M, Thomsen P (eds) *Titanium in medicine. Material science, surface science, engineering, biological responses and medical applications*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 875-888, 2001.
- [5] SHIBLI JA, GRASSI S, PIATTELLI A, ET AL. Histomorphometric evaluation of bioceramic molecular impregnated and dual acid-etched implant surfaces in the human posterior maxilla. *Clin Implant Dent Relat Res*; 12: 281-288, 2010.
- [6] SHIBLI JA, GRASSI S, DE FIGUEIREDO LC, ET AL. Influence of implant surface topography on early osseointegration: a histological study in human jaws. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*; 80: 377-385, 2007.
- [7] MANGANO C, MANGANO F, SHIBLI JA, ET AL. Prospective clinical evaluation of 201 direct laser metal forming implants: results from a 1-year multicenter study on 62 patients. *Lasers in Medical Science*; 27: 181-189, 2012.
- [8] KHAYAT PG, MILLIEZ SN. Prospective clinical evaluation of 835 multithreaded tapered screw vent implants: results after two years of functional loading. *J Oral Implantol*; 33: 225-231, 2007.
- [9] ASTRAND P, ENGQUIST B, DAHLGREN S, ET AL. Astra Tech and Branemark system implants: a 5-year prospective study of marginal bone reactions. *Clin Oral Implants Res*; 15: 413-420, 2004.
- [10] TRAINI T, MANGANO C, SAMMONS RL, ET AL. Direct laser metal sintering as a new approach to fabrication of an isoelastic functionally graded material for manufacture of porous titanium dental implants. *Dent Mater*; 24: 1525-1533, 2008.
- [11] SHIBLI JA, MANGANO C, D'AVILA S, ET AL. Influence of direct laser fabrication (DLF) implant topography on type IV bone: a histomorphometric study in humans. *J Biomed Mater Res (part A)* 93: 607-614, 2010.
- [12] MANGANO C, PIATTELLI A, IEZZI G, ET AL. Scanning electron microscopy (SEM) and X-ray dispersive spectrometry evaluation of direct laser metal sintering surface and human bone interface: a case series. *Lasers Med Sci*; 26:133-138, 2011.
- [13] MANGANO C, MANGANO F, SHIBLI JA, ET AL. Immediate loading of mandibular overdentures supported by unsplinted direct laser metal forming (DLMF) implants. Results from a 1-year prospective study. *J Periodontol*; 83: 70-78, 2012.
- [14] SHIBLI JA, PIATTELLI A, MANGANO C, ET AL. Bone-to-implant contact around immediately loaded direct laser metal forming (DLMF) transitional implants in posterior maxilla. *J Periodontol*; Jul 9 (epub ahead of print), 2012.
- [15] RICCI M, MANGANO F, TERCIO T, ET AL. Nanometrical evaluation of a direct laser implant surface. *S Int An*; May 28 (epub ahead of print), 2012.
- [16] FIGLIUZZI M, MANGANO F, MANGANO C. Case report on a novel root analogue dental implant using CT scan and CAD/CAM - selective laser melting technology. *Int J Oral Maxillofac Surg*; 41: 858-862, 2012.