

Miesięcznik nr 5 (261)

rok XXIV

maj 2014

Quiz
100
pytań



TEMAT MIESIĄCA

„Prześwietlanie” stomatologiczne

AKTUALNOŚĆ

Doskonalenie jakości
techniki wykonywania
zdjęć teleradiograficznych
czaszki w projekcji PA

STOMATOLOG PRAKTYCZNA

Radix entomolaris
i *radix paramolaris*
– diagnostyka obrazowa

VADEMECUM STOMATOLOGA

Możliwości wdrożenia
leczenia fizjoterapeutycznego
w gabinecie
stomatologicznym. Część I

Wybrane aspekty wytwarzania modeli medycznych dla potrzeb implantoprotetyki

Ingrid Różyło-Kalinowska¹, Sergij Isaryk², Sławomir Miechowicz³

Selected aspects of manufacturing of medical models for implantoprosthetic applications

Praca recenzowana

¹Samodzielna Pracownia Propedeutyki Radiologii Stomatologicznej i Szczękowo-Twarzowej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie

P.o. kierownik: prof. dr hab. n. med. Ingrid Różyło-Kalinowska

²Klinika Implantologii Stomatologicznej w Bydgoszczy

³Katedra Konstrukcji Maszyn, Politechnika Rzeszowska

Kierownik: prof. dr hab. inż. Tadeusz Markowski

Streszczenie

W pracy przedstawiono wybrane aspekty projektowania oraz wytwarzania modeli medycznych stosowanych w implantoprotetyce. Opisano metodę wytwarzania szablonów chirurgicznych na podstawie modeli fizycznych wykonanych technikami szybkiego prototypowania (ang. rapid prototyping). Przedstawiono etapy wytwarzania modelu medycznego, planowania oraz wykonania zabiegu implantoprotetycznego z wykorzystaniem szablonu chirurgicznego wykonanego według opracowanej metody. Zaproponowana metoda umożliwia poprawę efektywności planowania przedoperacyjnego, skrócenie czasu samego zabiegu oraz zmniejszenie ryzyka popełnienia błędu przez lekarza.

Summary

Some aspects of designing and fabrication of medical models for implant prosthetics are discussed in this article. The method of manufacturing of surgical templates with the use of medical models fabricated with rapid prototyping technology are described. The process of medical model fabrication, pre-operative planning and implantoprosthetic treatment with the use of surgical guide is also presented. The proposed method enables to improve effectiveness of pre-operative planning, reducing the time of surgical treatment and the risk of errors that can occur during the surgery.

Hasła indeksowe: tomografia komputerowa, implantoprotetyka, modelowanie medyczne, szablony chirurgiczne

Key words: computed tomography, implant prosthetics, medical modeling, surgical template

Wprowadzenie

Rozwój medycznej diagnostyki obrazowej, metod cyfrowego przetwarzania danych oraz technik wytwarzania umożliwił wykonanie dowolnie skomplikowanego fizycznego modelu trójwymiarowego, na podstawie danych uzyskanych w czasie badań tomograficznych. Otrzymany obiekt określa się jako model medyczny (1, 2).

W implantologii stomatologicznej pod pojęciem modelu medycznego kryje się model szczęki lub żuchwy pacjenta albo ich fragmenty wybrane przez lekarza stomatologa pod kątem wizualizacji i planowania zabiegu implantologicznego, wykonania szablonu protetycznego i chirurgicznego oraz symulacji zabiegu wszczepienia. Modele medyczne stosowane w diagnostyce i leczeniu konkretnych pacjentów, dlatego dla każdego przypadku tworzy się osobny model fizyczny.

Technologia pozwalająca na stworzenie rzeczywistego obiektu w modelu fizycznym jest określana jako szybkie prototypowanie (ang. rapid prototyping – RP). Dzięki technologii RP jest możliwe wykonanie rzeczywistych modeli fizycznych

w skali 1:1 oraz ich wybranych fragmentów. Czas potrzebny na wykonanie modelu metodą RP jest relatywnie krótki (od kilku do kilkudziesięciu godzin) i zależy od stopnia skomplikowania modelu i wybranej technologii, natomiast dokładność metody RP jest zależna od wykorzystywanej technologii.

W pracy przedstawiono zagadnienie modelowania RP dla potrzeb implantologii stomatologicznej, opisano doświadczenia własne w wytwarzaniu modeli medycznych w dziedzinie implantoprotezy.

Wygenerowanie modelu medycznego na podstawie danych TK

Pierwszym etapem modelowania jest akwizycja danych TK. Specjalistyczne tomografy stożkowe (CBCT) mają coraz szersze zastosowanie w akwizycji danych dla potrzeb implantoprotezy. Pozwalają na uzyskanie obrazu o wysokiej rozdzielczości przestrzennej. Istotnym zagadnieniem w akwizycji danych CBCT dla potrzeb implantologii jest powstawanie artefaktów – zniekształceń obrazu występujących przy znacznych różnicach gęstości badanego obiektu (szczególnie przy elementach metalowych: koronach, mostach, wkładach korzeniowo-koronowych i wypełnieniach amalgamatowych).

Uzyskane obrazy TK (przekroje) (ryc. 1a) podlegają segmentacji, czyli wyodrębnieniu z obrazu elementów, które będą podstawą do opracowania modelu anatomicznego bądź medycznego (np. wybranych struktur kostnych).

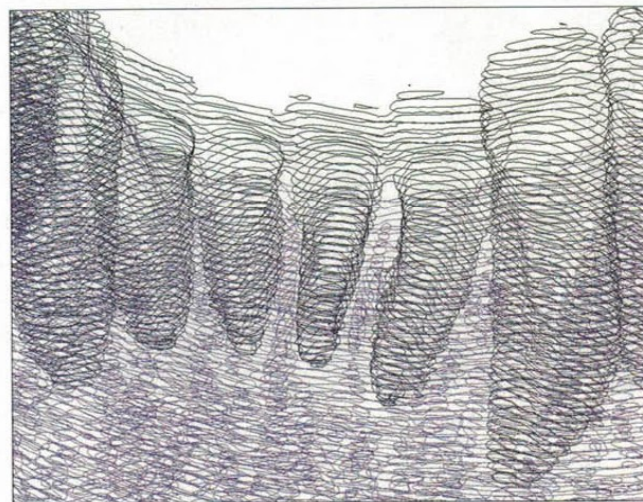
Wygenerowane obrazy konturowe (przekroje) (ryc. 1b) zawierają informacje o zewnętrznych i wewnętrznych granicach wyodrębnionych



Ryc. 1a. Zbiór obrazów rastrowych TK.

elementów. Zbiór przekrojów konturowych jest podstawą utworzenia reprezentacji trójwymiarowej – modelu powierzchniowego (ryc. 2).

Konwersja danych do modelu powierzchniowego umożliwia pełną manipulację modelem w dowolnym układzie współrzędnych oraz dokładne określenie obszaru zabiegu czy symulację jego przebiegu. Model można ograniczyć do wybranych fragmentów. Ze względu na duże rozmiary plików, często powyżej 200 MB, takie zawężenie obszaru modelu jest szczególnie korzystne. Wybór fragmentu kości, określenie zakresu ROI (ang. region of interest), są dokonywane przez lekarza stomatologa na bazie wygenerowanego modelu powierzchniowego całej czaszki z uwzględnieniem budowy i struktury kości (dane TK oraz badania rtg.) oraz specyfiki planowanego zabiegu (wirtualna symulacja zabiegu). Model wirtualny w takiej postaci modelu powierzchniowego jest bardzo dokładnym odwzorowaniem trójwymiarowego obrazu prawdziwych tkanek. Rzeczywiste powierzchnie tkanek są przedsta-



Ryc. 1b. Zbiór obrazów konturowych żuchwy oraz wyodrębnionych zębów.



Ryc. 2. Model powierzchniowy w formacie STL.



Ryc. 3. Fragment modelu powierzchni zębów z widoczną strukturą wewnętrzną.



Ryc. 4. Wieloobiektowy model żuchwy wykonany techniką PolyJet Matrix.



Ryc. 5. Odwzorowanie powierzchni na gipsowym modelu diagnostycznym szczęki i żuchwy.

wione jako elementarne powierzchnie zbudowane z pojedynczych trójkątów – model STL (ryc. 3).

Ostatnim etapem obróbki komputerowej, wykonywanym najczęściej przez specjalistę obsługującego dane urządzenie RP, jest zamiana obrazu 3D na szereg warstw w formie akceptowanym przez maszynę. Warstwy, po dobraniu odpowiednich parametrów maszyny, są przekształcane w zbiór rozkazów sterujących pracą urządzenia. Na ich podstawie maszyna RP tworzy, warstwa po warstwie, model fizyczny (ryc. 4).

Szablony protetyczne i chirurgiczne na bazie modeli medycznych

Wytworzenie szablonu protetycznego na podstawie modelu medycznego umożliwia wprowadzenie wszczepu w prawidłowej lokalizacji protetycznej. Planowanie protetyczne jest niezwykle istotne w implantoprotetyce ze względu na fakt, że zabieg wszczepienia implantu kończy się obciążeniem protetycznym. Wszczepienie implantu w miejscu najbardziej dogodnym tylko pod względem warunków kostnych (bez planowania protetycznego), mimo dobrego zakotwiczenia implantu, może powodować utrudnienie wykonania końcowej pracy protetycznej.

Równie istotnym zastosowaniem modeli medycznych jest ich wykorzystanie do tworzenia szablonów chirurgicznych. Tworzenie szablonów zawsze było i jest trudnym zadaniem w implantoprotetyce i wymaga dużej precyzji. Istnieje wiele metod wykonania szablonów. Jedną z komercyjnych metod wytwarzania szablonów wykorzystuje diagnostykę obrazową TK oraz jedną

z metod szybkiego prototypowania – SL (3-6).

Popularną metodą tworzenia szablonów jest wykorzystanie gipsowych modeli diagnostycznych. Ze względu na niskie koszty jest ona nadal popularna, ale szablony wykonane tą metodą z reguły nie są zbyt precyzyjne ze względu na brak przeniesienia informacji o budowie wewnętrznej i strukturze tkanki kostnej. Modele gipsowe odwzorowują jedynie powierzchnie zewnętrzne obiektów (ryc. 5).

Etapy tworzenia szablonu chirurgicznego

Proces tworzenia szablonu chirurgicznego składa się z następujących etapów (ryc. 6):

- badanie TK,
- wykonanie modelu RP,
- obróbka mechaniczna modelu – wykonanie otworów (ryc. 6a),
- ustalenie rozmieszczenia i pozycji wszczepów w szczękach (ryc. 6b),
- wykonywanie fizycznych modeli szablonów chirurgicznych z materiału biozgodnego (ryc. 6c),
- sprawdzenie dopasowania szablonu chirurgicznego przed zabiegiem.



Ryc. 6a. Etapy tworzenia szablonu chirurgicznego: wykonanie otworów w modelu JS PolyJet szczęki.

Etapy planowania i wykonania zabiegu implantologicznego

Wprowadzenie zabiegu implantologicznego zależy w dużej mierze od odpowiedniego planowania oraz przeprowadzenia wielu czynności przygotowawczych do zabiegu. Złożoność zagadnienia przedstawiono pokrót-



Ryc. 6b. Etapy tworzenia szablonu chirurgicznego: planowanie rozmieszczenia wszczepów.

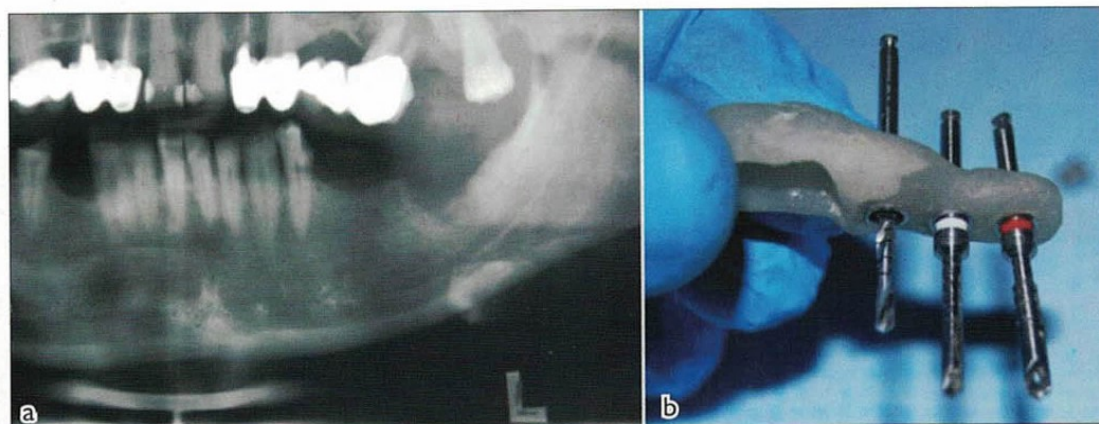


Ryc. 6c. Gotowy model szablonu chirurgicznego.

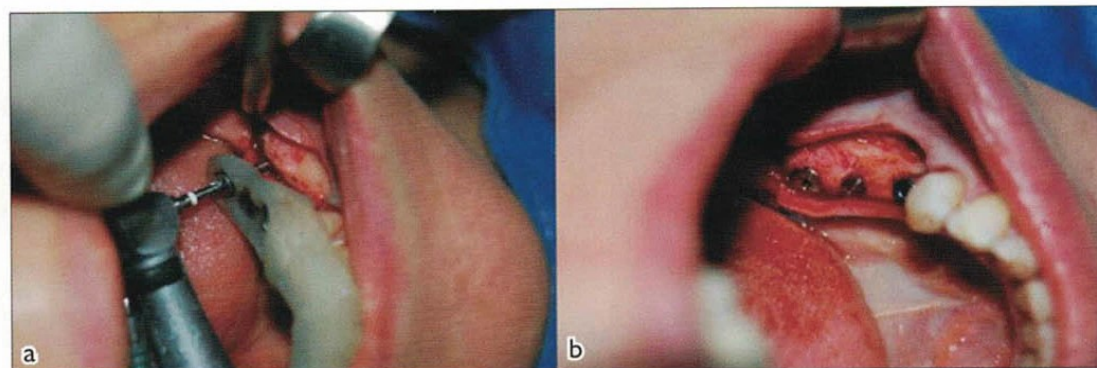
ce na przykładzie implantacji z zastosowaniem opracowanej metody szablonów chirurgicznych (7). Etapy planowania zabiegu implantoprotezy oraz jego wykonania z wykorzystaniem szablonów chirurgicznych zostały przedstawione na rycinach 7-9.

Dyskusja

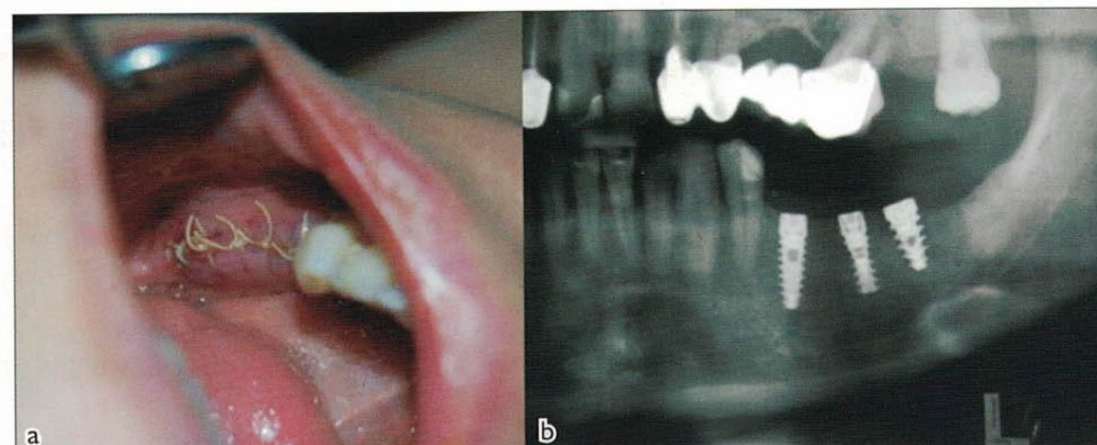
Model medyczny wykonany wybraną techniką szybkiego prototypowania umożliwia określenie grubości i szerokości struktur kostnych, planowanie liczby, lokalizacji i pozy-



Ryc. 7. Planowanie zabiegu: a) miejsce planowanej implantacji (obraz rtg.), b) szablon wykonany z materiału biozgodnego Palatraj XL (Heraeus Kulzer) z kompletem wiertel.



Ryc. 8. Osadzenie wszczepów w kości żuchwy: a) wiercenie otworów w wyrostku za pomocą szablonu, b) widok trzech wszczepów wprowadzonych w zaplanowanych miejscach.



Ryc. 9. Pozytywny wynik zabiegu: a) wygląd pola implantacji po trzech dniach od zabiegu, b) widok osadzonych wszczepów na zdjęciu pantomograficznym.

cjonowania wszczepów filarowych oraz pomaga w powzięciu decyzji o potrzebie zastosowania dodatkowych zabiegów chirurgicznych, np. sterowanej regeneracji kości.

Symulacji zabiegu wszczepienia implantów można dokonać z użyciem wiertel pilotujących wykorzystywanych przez lekarzy systemów implantologicznych, nawiercając w zaplanowanym kierunku otwory i umieszczając w tych otworach wskaźniki kierunku. Popełnione podczas planowania błędy można łatwo poprawić na modelu medycznym, co istotnie wpływa na ograniczenie ryzyka popełnienia błędu w warunkach zabiegu rzeczywistego. Nowoczesne narzędzia dodatkowo, jakimi są wizualizacje i symulacja zabiegu, dają lekarzowi o wiele większą pewność przy wykonywaniu zabiegu wszczepienia implantów i dalszej protetyki na wszczepionych filarach.

Szablony wykonane na bazie modeli medycznych stanowią istotny krok w kierunku poprawy efektywności zabiegu chirurgicznego (1, 8). Zastosowanie modelu medycznego w procesie leczenia, zabiegu chirurgicznego obniża ryzyko niepowodzenia zabiegu do 25%, a dodatkowo przy użyciu szablonu chirurgicznego ryzyko zmniejsza się do 5-10% (9).

Należy wspomnieć o aspekcie dydaktycznym zastosowania modeli medycznych. Modele medyczne skomplikowanych przypadków klinicznych można wykorzystać do celów szkoleniowych, ćwiczeń praktycznych dla studentów uczelni medycznych oraz podczas szkoleń dla lekarzy. Wykorzystanie modeli medycznych pomaga również w lepszej komunikacji między lekarzem a pacjentem. Odwzorowanie problemu medycznego na modelu fizycznym pozwala na przedstawie-

nie celu zabiegu operacyjnego, lepszemu zrozumieniu jego istoty przez pacjenta oraz obrazowe uzasadnienie konieczności podjęcia dodatkowych czynności niezbędnych w danym przypadku klinicznym.

Wnioski

- Zastosowanie modeli medycznych poprawia efektywność planowania zabiegu implantoprotetycznego.
- Zastosowanie szablonów wykonanych na podstawie modeli medycznych umożliwia skrócenie czasu samego zabiegu oraz zmniejszenie ryzyka popełnienia błędu przez lekarza.
- Model medyczny stanowi efektywną formę przekazu i prezentacji informacji o geometrii i strukturze wewnętrznej ciała, szczególnie w skomplikowanych przypadkach klinicznych.

PIŚMIENNICTWO

1. Dilipjoshi M., Dange S.P., Khalikar A.N.: Rapid prototyping technology in maxillofacial prosthodontics: basics and applications. *J. Indian Prosthodont Soc.*, 2006, 6, 175-178.
2. Miechowicz S., Isaryk S.: Zastosowanie nowych technik szybkiego prototypowania do tworzenia modeli medycznych wykorzystywanych w implantologii stomatologicznej – doniesienie wstępne. *Sztuka Implantologii*, 2008, 1, 5, 44-51.
3. Ersoy A.E. i wsp.: Reliability of implant placement with stereolithographic surgical guides generated from computed tomography: clinical data from 94 implants. *J. Periodontol.*, 2008, 79, 8, 1339-1345.
4. Lal K. i wsp.: Use of stereolithographic templates for surgical and prosthodontic implant planning and placement. Part II. A clinical report. *J. Prosthodont.*, 2006, 15, 117-122.
5. Sammartino G. i wsp.: Stereolithography in oral implantology: a comparison of surgical guides. *Implant Dent.*, 2004, 13, 2, 133-139.
6. Widmann G., Bale R.J.: Accuracy in computer-aided implant surgery: a review. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, 2006, 21, 305-313.
7. Isaryk S.: Sposób wytwarzania szablonów chirurgicznych na modelach medycznych. Doniesienie wstępne. *Sztuka Implantologii*, 2009, 1, 7, 48-61.
8. Arfai N.K., Kiat-Amnuay S.: Radiographic and surgical guide for placement of multiple implants. *J. Prosthet. Dent.*, 2007, 97, 310-312.
9. Chiu W.K., Luk W.K., Cheung L.K.: Three-dimensional accuracy of implant placement in a computer-assisted navigation system. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, 2006, 21, 465-471.