Окремі аспекти створення медичних моделей для проведення імплантологічно-ортопедичного втручання

Selected Aspects of Manufacturing of Medical Models for Implantoprosthetic Applications

Ружило-Каліновска І.[1], Ісарик С.[2], Мєховіч С.[3]
[1]незалежна лабораторія пропедевтики стоматологічної та щелепно-лицевої радіології медичного університету, Люблін, Польща
[2]клініка стоматологічної імплантології, Бидгощ, Польща
[3]кафедра конструювання механізмів, Жешувська політехніка, Польща
Różyło-Kalinowska I., Isaryk S., Miechowicz S.

Стаття любязно надана польським журналом «Magazyn Stomatologiczny», №5/2014, с. 32–36

Резюме: У статті представлено окремі аспекти проектування та створення медичних моделей, що використовуються при імплантологічно-ортопедичному втручанні. Описано метод виконання хірургічних шаблонів на основі фізичних моделей технікою швидкого прототипування (*rapid prototyping*). Представлено етапи створення медичної моделі, планування та проведення імплантологічно-ортопедичного втручання з використанням хірургічного шаблону, виготовленого згідно з розробленим методом. Запропонований метод дозволяє підвищити ефективність передопераційного планування, скоротити час втручання і знизити ризик допущення помилки лікарем.

Ключові слова: комп'ютерна томографія, протезування з опорою на імплантати, медичне моделювання, хірургічні шаблони.

Summary: Some aspects of designing and fabrication of medical models for implant prosthetics are disscussed 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.

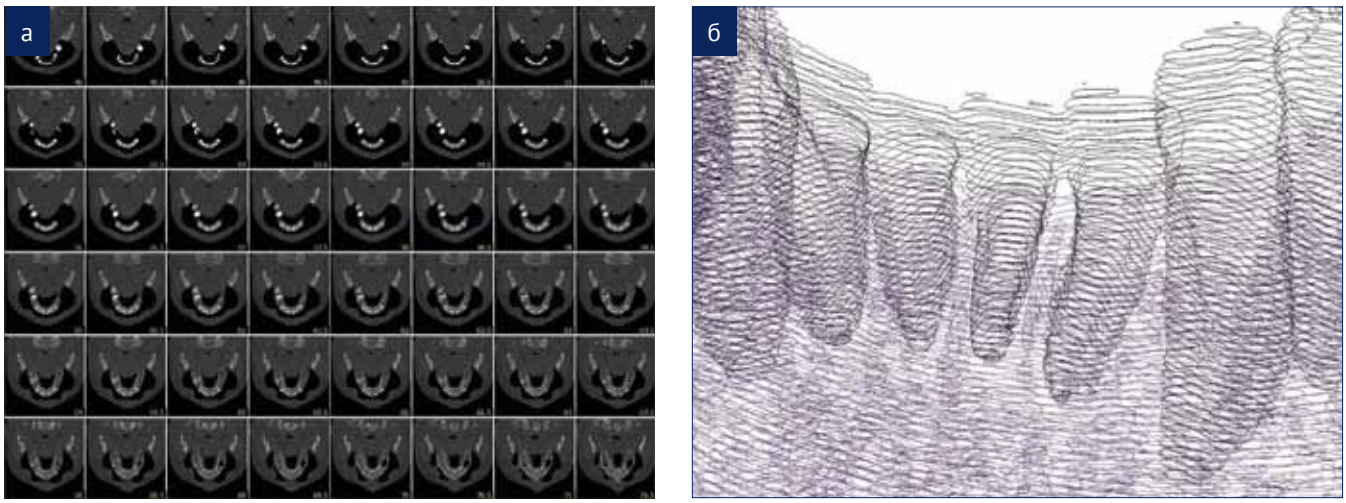
Key words: computed tomography, implant prosthetics, medical modeling, surgical template.

Вступ

Розвиток медичної візуальної діагностики, метод цифрової обробки даних і технік створення уможливили виконання доволі складної тривимірної фізичної моделі на підставі даних томографічних досліджень. Отриманий об'єкт окреслюється як медична модель [1, 2].

У стоматологічній імплантології під поняттям медичної моделі розуміють модель верхньої або нижньої щелепи пацієнта чи їх фрагменти, обрані лікарем-стоматологом для візуалізації та планування імплантологічного втручання, виготовлення ортопедичного та хірургічного шаблонів і симуляції імплантації. Медичні моделі використовують для діагностики та лікування певних пацієнтів, тому для кожного клінічного випадку виготовляють окрему фізичну модель.

Технологію, що дозволяє відтворювати реальний об'єкт на фізичній моделі, називають швидким прототипуванням (*rapid prototyping, wRP*). Завдяки технології RP можна виготовляти реальні



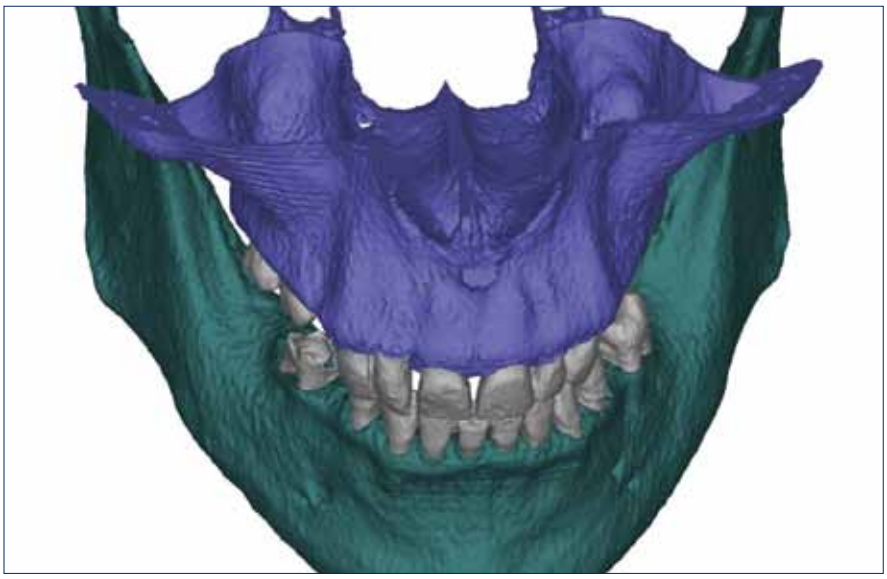
Мал. 1. а — растрові зображення КТ; б — контурні зображення нижньої щелепи та окремих зубів

фізичні моделі в масштабі 1:1 та окремі фрагменти. Час, необхідний для виготовлення моделі методом RP, відносно короткий (від кількох до кільканадцяти годин) і залежить від ступеня складності моделі та обраної технології, точність методу RP залежить від застосовуваної технології. У роботі представлені проблеми моделювання RP для потреб стоматологічної імплантології, описаний власний досвід виготовлення медичних моделей для імплантологічно-ортопедичного лікування.

Генерування медичної моделі на підставі даних комп'ютерної томографії (КТ)

Першим етапом моделювання є збір даних КТ. Спеціалізовані конусні томографи (СКТ) все ширше застосовують у зборі даних для імплантологічно-ортопедичного лікування. Вони дозволяють отримати зображення високої просторової роздільної здатності. Важливим питанням збору даних за допомогою СКТ для потреб імплантології є виникнення артефактів — спотворення зображень, спричинене значною різницею щільності досліджуваного об'єкта (особливо металевих елементів: коронок, мостоподібних протезів, коронково-кореневих вкладок і амальгамних пломб). Отримані КТ-зображення (перерізи) (мал. 1 а) підлягають сегментації, тобто виокремленню із зображення елементів (наприклад, вибраних кісткових структур), які стануть основою для опрацювання анатомічної або медичної моделі. Генеровані контурні зображення (перерізи) (мал. 1 б) містять інформацію про зовнішні та внутрішні межі виокремлених елементів. Набір контурних перерізів є підставою створення тривимірної репрезентації — поверхневої моделі (мал. 2).

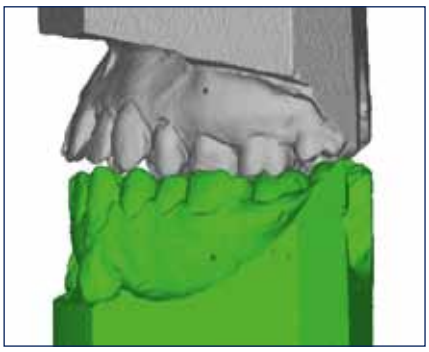
Конверсія даних у поверхневу модель дозволяє здійснювати повне керування моделлю у будь-якій системі координат і точно визначати ділянку втручання або симуляцію його перебігу. Модель можна обмежити обраними фрагментами. З огляду на великий обсяг файлів, часто понад 200 МБ, таке завуження обсягу є особливо корисним. Вибір фрагмента кістки, визначення обсягу ROI (*region of interest*) здійснює лікар-стоматолог



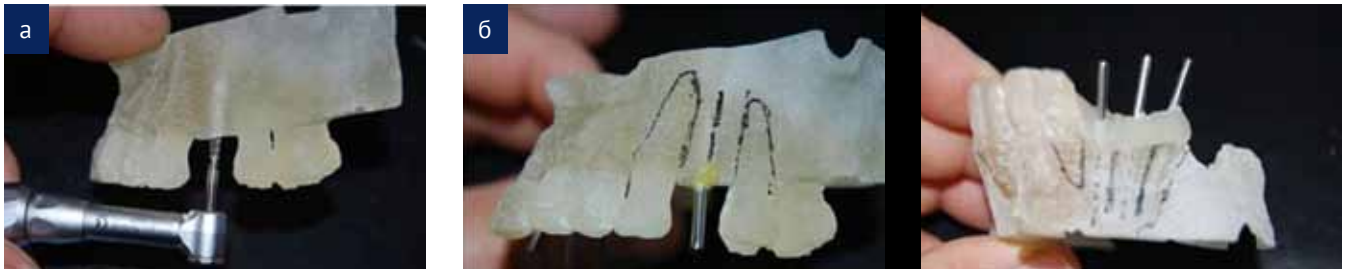
Мал. 2. Поверхнева модель у форматі STL

Мал. 3. Фрагмент моделі поверхні зубів з видимою внутрішньою структурою

Мал. 4. Багатооб'єктна модель нижньої щелепи, виготовлена технікою PolyJet Matrix



Мал. 5. Відтворення поверхні на діагностичній гіпсовій моделі верхньої та нижньої щелеп



Мал. 6. Етапи створення хірургічного шаблону: а — свердління отворів у моделі JS PolyJet нижньої щелепи; б — планування розміщення імплантатів

Мал. 6. Продовження: в — готова модель хірургічного шаблону

на підставі згенерованої поверхневої моделі черепа в цілому з урахуванням будови та структури кістки (дані КТ і рентгенівські дослідження) та специфіки планованого втручання (віртуальна симуляція втручання). Віртуальна модель у вигляді такої поверхневої моделі є дуже точним відтворенням тривимірного зображення реальних тканин. Фактичні поверхні тканин зображені як елементарні поверхні, збудовані з окремих трикутників — модель STL (мал. 3).

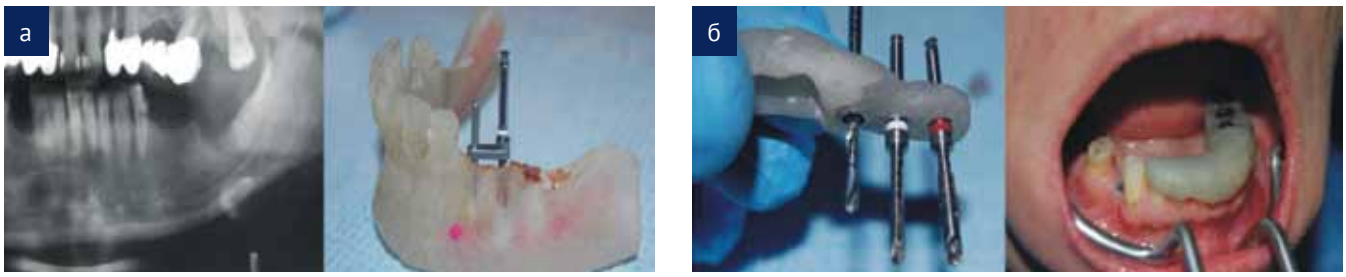
Завершальним етапом комп'ютерної обробки, який переважно виконує фахівець з обслуговування RP-системи, є заміна 3D-зображення на низку ізогіпсів у форматі, що акцептується установкою. Ізогіпси після підбору відповідних параметрів установки перетворюються у набір команд, що контролюють її роботу. На їх підставі RP-система шар за шаром створює фізичну модель (мал. 4).

Ортопедичні та хірургічні шаблони на основі медичних моделей

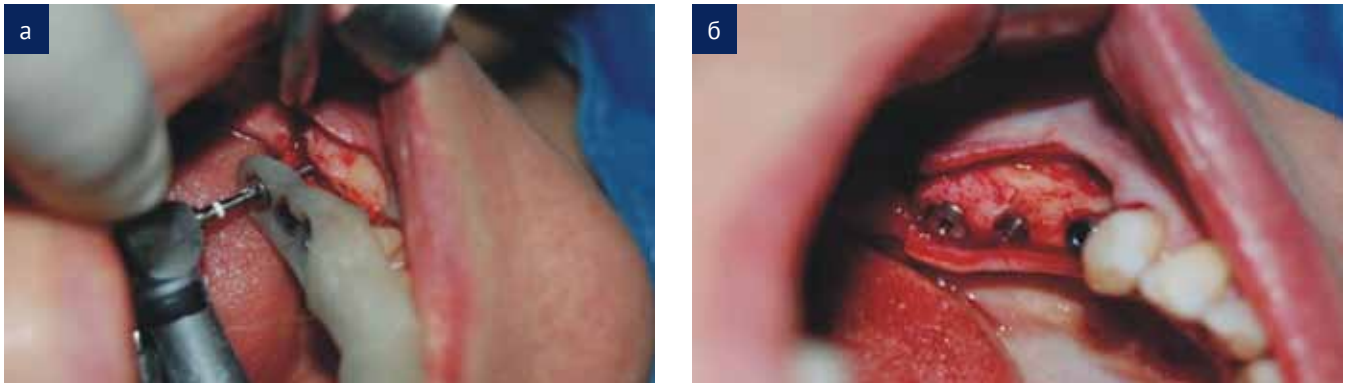
Створення ортопедичного шаблону на основі медичної моделі дозволяє встановити імплантат у правильній ортопедичній локалізації. Ортопедичне планування є надзвичайно важливим в імплантологічно-ортопедичному лікуванні з огляду на те, що імплантація завершується ортопедичним навантаженням. Встановлення імплантату в найбільш відповідній ділянці лише з огляду на кісткові умови (без ортопедичного планування), незважаючи на успішне вживлення імплантату, може ускладнити виготовлення остаточної ортопедичної конструкції.

Не менш важливим є використання медичних моделей для створення хірургічних шаблонів. Створення шаблонів завжди було і залишається важким завданням імплантологічно-ортопедичного лікування та вимагає високої точності.

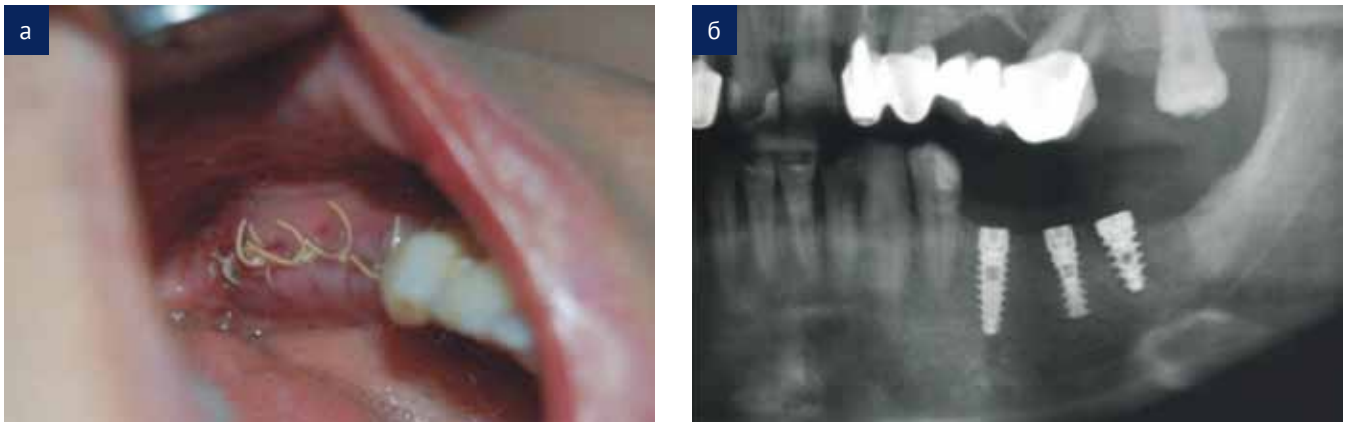
Є багато методів виготовлення шаблонів. Один з комерційних методів створення шаблонів використовує діагностичні КТ-зображення та метод швидкого прототипування — SL [3-6]. Поширений метод створення шаблонів полягає у використанні гіпсових діагностичних моделей. Зважаючи на низьку вартість, його широко застосовують, але виконані цим методом шаблони зазвичай не дуже точні через відсутність передачі інформації про внутрішню бу-



Мал. 7. Планування втручання: а — місце планованої імплантації (rtg-знімок); б — шаблон, виготовлений з біосумісного матеріалу Palatraj XL («Heraeus Kulzer»), та комплект свердел



Мал. 8. Встановлення імплантатів у кістці нижньої щелепи: а — свердління отворів у альвеолярному відростку за допомогою шаблону; б — вигляд трьох імплантатів, встановлених у запланованих місцях



Мал. 9. Позитивний результат втручання: а — вигляд ділянки імплантації через 3 дні після втручання; б — вигляд встановлених імплантатів на пантомографічному знімку

дову і структуру кісткової тканини. Гіпсові моделі відтворюють тільки зовнішні поверхні об'єктів (мал. 5).

Етапи створення хірургічного шаблону

Процес створення хірургічного шаблону складається з таких етапів (мал. 6):

- КТ-дослідження
- виготовлення RP-моделі
- механічна обробки моделі, виготовлення отворів (мал. 6 а)
- визначення розміщення і позиції імплантатів у верхній щелепі (мал. 6 б)
- виготовлення фізичних моделей хірургічних шаблонів з біосумісного матеріалу (мал. 6 в)
- перевірка припасування хірургічного шаблону перед втручанням.

Етапи планування та проведення імплантологічного втручання

Успіх імплантологічного втручання значною мірою залежить від належного планування та проведення низки підготовчих заходів. Складність проблеми стисло представлено на прикладі імплантації з використанням роз-

робленого методу хірургічних шаблонів [7]. Етапи планування імплантологічно-ортопедичного втручання та його проведення із застосуванням хірургічних шаблонів представлені на мал. 7–9.

Обговорення

Медична модель, виготовлена за обраною технікою швидкого прототипування, дозволяє окреслити товщину і ширину кісткових структур, виконати планування кількості, локалізації та позиціонування опорних імплантатів і допомагає у прийнятті рішення про необхідність застосування додаткових хірургічних втручань, наприклад, направленої регенерації кістки.

Симуляцію встановлення імплантатів можна здійснити за допомогою пілотних свердел, які використовуються лікарями з імплантологічних систем для просвердлювання отворів у запланованому напрямку і встановлення в них вказівників напрямку. Допущені під час планування помилки можна легко виправити на медичній моделі, що суттєво впливає на обмеження ризику помилок в умовах фактичного втручання. Сучасні додаткові інструменти як візуалізація і симуляція втручання, дають лікареві набагато більшу впевненість при встановленні імплантатів, а в подальшому — ортопедичних конструкцій.

Шаблони, виготовлені на основі медичних моделей, є важливим кроком з покращення ефективності хірургічного втручання [1, 8]. Використання медичної моделі у процесі лікування та хірургічного втручання знижує ризик невдач до 25%, а при застосуванні хірургічного шаблону — ще до 5–10% [9]. Слід згадати про дидактичний аспект застосування медичних моделей. Медичні моделі складних клінічних випадків можна використати для навчання, практичних занять студентів медичних вищих навчальних закладів і підвищення кваліфікації лікарів. Використання медичних моделей також допомагає у покращенні комунікації між лікарем і пацієнтом. Відтворення медичної проблеми на фізичній моделі дозволяє представити мету хірургічного втручання, допомагає пацієнтові краще розуміти його суть, а також обґрунтовує за допомогою зображень необхідність додаткових заходів у конкретному клінічному випадку.

Висновки

Застосування медичних моделей підвищує ефективність планування імплантологічно-ортопедичного втручання. Використання шаблонів, виготовлених на основі медичних моделей, сприяє скороченню тривалості втручання і знижує ризик допущення помилки лікарем. Медична модель є ефективною формою передачі та презентації інформації про геометрію та внутрішню структуру тіла, що дуже важливо у складних клінічних випадках.

Переклад з польської
Олександри Яремко

Список використаної літератури в редакції