

Костянтин ДЯДЮРА¹, д-р техн. наук, проф.,
Василь РИБАК², канд. мед. наук,
Михайло НЕТКАЧЕВ¹, студент,
Кирило КАЛІНІН¹, студент
Сергій ЗАБОРСЬКИЙ¹, аспірант

¹ Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса, Україна, e-mail: dyadyura.k.o@op.edu.ua

² Відділення стаціонарної після гострої та довготривалої реабілітаційної допомоги КНП «МКЛ№10» ОМР, м. Одеса, Україна

ПРОЕКТУВАННЯ КОРОНАЛЬНИХ ПЛАСТИН ТА ІМПЛАНТІВ: ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ

Анотація. Щелепно-лицевий протез, альтернатива хірургічному втручанню для реабілітації пацієнтів із вадами обличчя (вродженими чи набутими внаслідок злоякісного захворювання чи травми). Головною метою розроблення та встановлення таких протезів є покращення якості життя пацієнтів шляхом заміни частин обличчя або відсутніх ділянок кісток і м'яких тканин і відновлення ротової функції таких як ковтання, мова та жування. Автоматизоване проектування (CAD/CAE/CAM) та адитивне виробництво (3D друк) відкрили новий підхід до виготовлення щелепно-лицевих протезів. У роботі досліджуються технології проектування та виготовлення щелепно-лицевих протезів. Кортикальна кістка була сегментована з даних комп'ютерної томографії пацієнта за допомогою програмного забезпечення. Індивідуальні імплантати (PSI) були розроблені та виготовлені за допомогою технологій CAD/CAE/CAM.

Ключові слова: щелепно-лицеве протезування, анапластологія, верхньощелепний obturator, CAD, CAM, програмне забезпечення для проектування

Актуальність дослідження

Щелепно-лицеві дефекти, які можуть бути спричинені різними причинами, такими як генетичні фактори, фактори росту та розвитку, травми, часто призводять до численних проблем, починаючи від дефектів зубів і зубних рядів, неправильного прикусу до щелепно-лицевих деформацій [1, 2]. Що стосується цих складних випадків, то найскладнішим етапом їх лікування є комплексна діагностика, планування та прийняття рішення щодо застосування індивідуальних імплантів (рис. 1) [3].



Рис. 1. Імплантат, який використовується для заміни частини щелепної кістки

Щелепно-лицьова кістка є персоналізованою природною людською кісткою, і її важко відновити після дефекту. Існують проблеми в тому, як розробити замітник, який підходить до непошкодженої частини, і розробити біоміметичну структуру для структури трабекулярної кістки. Дизайн індивідуальних імплантів став більш зручним та ефективним завдяки останнім досягненням в області медичної візуалізації, комп'ютерного проектування, аналізу кінцевих елементів, біосумісних матеріалів і технологій 3D-друку (адитивне виробництво). У цьому дослідженні ми проводили розробку індивідуальних щелепно-лицевих імплантів і направляючих, висвітлили поточні ідеї та зосередилися на отриманих клінічних результатах. У роботі представлені етапи проектування індивідуальних імплантів (PSI).

Мета дослідження

Метою даного дослідження є моделювання та виготовлення індивідуальних імплантів пацієнта з підтримкою віртуального 3D-планування та технології CAD-CAM для застосування в щелепно-лицевій хірургії.

Основні матеріали досліджень

Дефекти нижньої щелепи відновлюють переважно за допомогою індивідуальних імплантів пацієнта або хірургічних методів реконструкції. Основними видами PSI є анатомічні титанові енопротези, які відновлюють втрачені частини нижньої щелепи без додаткових кісткових аутотрансплантів, індивідуальні фіксатори у формі жолоба та конструкції, що поєднують елементи енопротеза та індивідуального фіксатора пацієнта. Після операційні результати щелепно-лицевих хірургічних втручань можуть бути покращені шляхом інтеграції індивідуальних імплантів до протоколу лікування. Завдяки цьому новому підходу виключається контурна форма, яка необхідна для забезпечення геометричної сумісності між анатомічною формою пацієнта та імплантатом. Розташування гвинтів можна запланувати під час передопераційного моделювання, щоб не пошкодити будь-яку анатомічну структуру. Ця передопераційна підготовка скорочує час перебування в операційній. Крім того, для фіксації імплантів у запланованому положенні можна використовувати індивідуальні напрямні для остеотомії та свердла, що мінімізує можливість пошкодження щелепно-лицевої області та робить хірургічне втручання точнішим [4].

Етапи виготовлення таких імплантів включають [5]:

- 1) отримання тривимірної твердотільної моделі анатомічних структур із двовимірних сканованих зображень пацієнта;
- 2) моделювання операції на анатомічній комп'ютерній моделі;
- 3) проектування PSI відповідно до моделі пацієнта,
- 4) виготовлення імплантів за допомогою належних адитивних методів виробництва.

Двостороння сагітальна розщеплена остеотомія (BSSO) для нижньої щелепи є одними з найбільш часто використовуваних методик для ортогнатичної хірургії [6]. Для дефектів нижньої щелепи було розглянуто класифікацію Кантора та Кертиса, яка довела свою корисність для спрямування хірургічної та протезної реабілітації.

Результати

Верхню та нижню щелепу з скронево-нижньощелепним суглобом та виличним відростком сегментували з урахуванням порогів кісткової тканини одиниці Хаунсфілда (HU) між 226 та 3071 HU. КТ зображення представлено на рис. 2, *а*. Створили 3D-моделі нижньої щелепи з двовимірних зображень (рис. 2, *б*). Для цього використовувалося некомерційне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом (3D Slicer, Slicer Wiki). Результати моделювання показали, що навантаження на нижню щелепу розподіляється симетрично, а трансплантат односторонньої збірної реконструкційної пластини та щелепно-лицевого протеза ефективно врівноважував передачу напруги під час процесу оклюзії (рис. 2, *в*). Результати досліджень показують, що 3D-геометричне відхилення між запланованим положенням і післяопераційним результатом становило 0,60 мм (95%-ДІ 0,46-0,74, діапазон 0,32...1,11 мм) для пацієнтів з PSI та 0,86 мм (95%-ДІ 0,44-1,28, діапазон 0,09...2,60 мм) для пацієнтів з хірургічними шинами. Після операційні відмінності для абсолютних і знакових одиничних лінійних відхилень між запланованим і післяопераційним положенням були трохи вищими щодо осі *x* і кроку, але нижчими щодо осей *y* і *z*, а також повороту та повороту для PSI порівняно з хірургічними шинами.

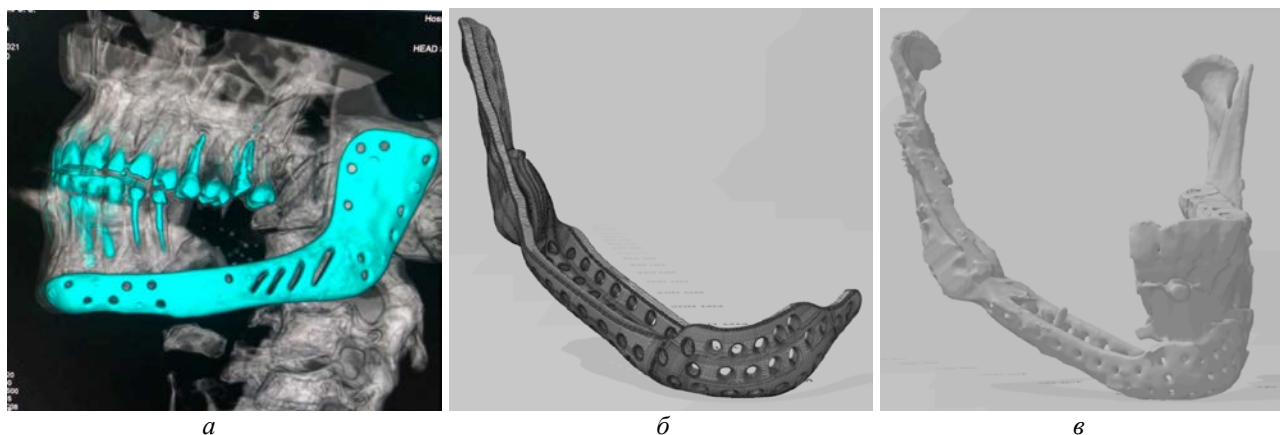


Рис. 2. Сагітальний вид тривимірної моделі верхньої і нижньої щелепи (*а*); модель індивідуального імплантата пацієнта (*б*); встановлений імплантат на пошкоджену ділянку нижньої щелепи (*в*)

Не було суттєвих відмінностей щодо глобального геометричного відхилення, абсолютних і знакових лінійних відхилень на осі x, y та z, а також обертання (рискання, тангаж та крен) між обома групами. Таким чином, індивідуальні імплантати та хірургічні шини забезпечують еквівалентну високу точність.

Висновок

Індивідуальні імплантати пацієнта з підтримкою віртуального 3D-планування та технології CAD-CAM представляють наступний рубіж у реабілітації складних щелепно-лицевих дефектів, поступово замінюючи золоті стандартні аутотрансплантати як бажаний спосіб реконструкції. Це дослідження підтверджує переваги PSI для пацієнтів із великими дефектами та, часто, попередньою реконструкцією, які потребують вторинної посттравматичної орбітальної реконструкції. Використання обох опор або подовження обох виявилось ефективним у контролі позиціонування імплантату: можна було встановити значний позитивний вплив на крен і поворот відповідно. Гіпотезу про те, що положення імплантату впливає на клінічний результат, не вдалося встановити в цьому дослідженні, що могло бути пов'язано зі специфікою дослідження з точним розташуванням імплантату та загальними позитивними клінічними результатами.

Література

1. Chowdhury, S.K.R., Padha, K., Kumar, R. et al. (2023) Scope of PSI in Maxillofacial Region: Our Experience. *J. Maxillofac. Oral Surg.* 22 (Suppl 1), 124–132. <https://doi.org/10.1007/s12663-022-01832-0>.
2. Michelinakis, G., Apostolakis, D., Kamposiora, P. et al. (2021) The direct digital workflow in fixed implant prosthodontics: a narrative review. *BMC Oral Health.* 21, 37. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01398-2>.
3. Lv, L., He, W., Ye, H. et al. (2022) Interdisciplinary 3D digital treatment simulation before complex esthetic rehabilitation of orthodontic, orthognathic and prosthetic treatment: workflow establishment and primary evaluation. *BMC Oral Health.* 22, 34. <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02070-z>.
4. Farook, T.H.; Jamayet, N.B.; Abdullah, J.Y.; Asif, J.A.; Rajion, Z.A.; Alam, M.K. (2020) Designing 3D prosthetic templates for maxillofacial defect rehabilitation: A comparative analysis of different virtual workflows. *Comput. Biol. Med.* 118, 103646. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2020.103646>.
5. Habib, A.A.I., Sheikh, N.A. (2022) 3D Printing Review in Numerous Applications for Dentistry. *J. Inst. Eng. India Ser. C* 103, 991–1000. <https://doi.org/10.1007/s40032-022-00810-2>.
6. Yagiz, A., Dogru, S.C., Üzel, M., Kocaelli, H., Arslan, Y.Z., Cansiz, E. (2021). Design of Patient-Specific Maxillofacial Implants and Guides. In: Sharma, N.R., Subburaj, K., Sandhu, K., Sharma, V. (eds) *Applications of 3D printing in Biomedical Engineering*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-33-6888-0_5.