Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ *Навчально-науковий центр заочної форм навчання* _____
(повна назва)

Кафедра _____*Біомедичної інженерії*_____
(повна назва)

АНОТАЦІЯ
кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти _____*другий (магістерський)*_____

Система швидкого прототипування черепних імплантатів за томографічним даними

Виконав:
студент *2* курсу, групи *БМІзм-21-1*_____
_____*Панімасов Р.О.*_____
(прізвище, ініціали)

Спеціальність *163 Біомедична інженерія* __
_____
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми ___*освітньо-професійна*____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма __*«Біомедична інженерія»*
_____
(повна назва освітньої програми)

Керівник _____*проф. Семенець В.В.* _____
(посада, прізвище, ініціали)

2022 р.

ВСТУП

Нейрохірургічні втручання завжди потребують високоточної апаратури для виконання операцій з найменшою інвазивністю [1, 2]. Для цього використовуються складні методи нейровізуалізації [3, 4] та відповідні нейрохірургічні системи [5, 6]. На сьогодні прототипування черепних імплантатів за томографічними даними [7] є актуальною медичною темою, адже різко збільшилася кількість пацієнтів із посттравматичними дефектами і деформаціями обличчя, пов'язане із наявністю локальних військових конфліктів, техногенних катастроф, зростання числа дорожньо-транспортних пригод, неадекватною та несвоєчасною медичною допомогою пацієнтам із травмою. Посттравматичні дефекти та деформації черепу супроводжуються вираженими естетичними змінами [7, 8]. Для цього застосовують традиційні методи лікування – імплантати або кісткові трансплантанти для відновлення цілісності її стінок [7-9]. Саме положення імплантатів та їх форма обумовлюють відновлення контуру пошкодженої ділянки.

В останні роки набирають розвитку технології прототипування імплантатів за томографічними даними та їх застосування в лікуванні різних видів дефектів та деформацій обумовлюють інтерес до їх застосування при усуненні пошкоджень [9, 10].

Томографічні дані дозволяють оцінити вихідну позицію, віртуально спланувати результати оперативного втручання, змоделювати дизайн імплантати та виготовити їх сучасними методами прототипування. Комп'ютерне моделювання в нейрохірургії базується на дослідженні віртуальних тривимірних моделей кісток та м'яких тканин, побудованих за даними спіральної чи конусної комп'ютерної томографії (КТ) із високою роздільною здатністю. Сучасні програмні комплекси для аналізу томографічних зображень дозволяють візуалізувати внутрішні анатомічні структури, оцінити їх розміри і взаємне розташування, детально вивчити їх

морфологічні особливості та навіть деякі фізіологічні характеристики. Важливо відмітити, що отримані зображення (віртуальні моделі) мають дуже високу ступень роздільної здатності і дозволяють диференціювати тканини із мінімальними структурними відмінностями, вивчати як кісткові, так і м'якотканинні структури, а також є основою для впровадження сучасних систем автоматизованого проектування (CAD/CAM технологія) у клінічну практику [11-12]. Основні методи краніопластики та планування реконструктивних оперативних втручань розглядалися у літературі [12-29].

Для того, щоб показати доцільність використання індивідуалізованих пластин в даній роботі була поставлені наступна мета та задачі.

Мета: розробити систему швидкого прототипування черепних імплантатів за даними томографічних досліджень, охарактеризувати технології реконструкцій черепних імплантатів методами комп'ютерного моделювання та проаналізувати результати лікування пацієнтів шляхом визначення ступеню відновлення об'єму, на основі їх порівняння.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- охарактеризувати черепні дефекти та технології їх закриття;
- вивчити види імплантатів та їх властивості;
- вивчити можливості застосування сучасних методів комп'ютерного моделюваня у виготовлення прототипування черепних імплантатів;
- розглянути та охарактеризувати технології реконструкцій черепних імплантатів за даними СКТ;
- розробка методів побудови комп'ютерної моделі ЧІ за КТ даними, залежно від розташування посттравматичного дефекту черепа;
- оцінити клінічну ефективність лікування індивідуалізованими пластинами у пацієнтів із формами дефектів;
- проаналізувати 3-D моделі виділених об'єктів травмованої та неушкодженої сторони пацієнта (до та після операції);
- програмна реалізація методів побудови КМ ЧІ за КТ-даними.

Об’єктом дослідження є посттравматичні черепні дефекти.

Предметом дослідження є прототипування черепних імплантатів за томографічними даними.

Методи дослідження: метод вибору порога бінаризації для сегментації КТ- і РГ-знімків; метод пошуку різких вигинів контуру кісткових структур на КТ-знімках; метод тріангуляції набору точок; класифікатор за мінімумом відстані між вектором ознак невідомого об'єкта й кожним вектором прототипу.

Наукова новизна результатів: вдосконалено метод побудови об'ємної моделі черепного імплантату за томографічними даними, який відрізняється від існуючих тим, що для побудови моделі імплантату використовуються тривимірна комп'ютерна модель черепа пацієнта й усереднена модель черепа відповідного антропологічного типу, що дозволяє підвищити ступінь автоматизації методу; розроблено узагальнену систему прототипування черепного імплантату за томографічними даними.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що тривимірні моделі черепних імплантатів та їх система швидкого прототипування може застосовується під час проведення оперативних втручань для ліквідації наслідків черепно-мозкових травм у нейрохірургічних відділеннях.

ЗМІСТ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У *першому* розділі магістерської роботи охарактеризовано та проаналізовано черепні дефекти та їх закриття, розглянуто різновиди імплантатів. Зокрема, визначили, що краніопластика – це відновлення цілісності черепа після декомпрессивних операцій, втиснених переломів, вогнепальних поранень, а також інших патологічних процесів.

Дослідили, що сучасні матеріали, що використовуються для прототипування черепних імплантатів, поділяються на ауто-, алло- і ксенотрансплантати. Для початку матеріали мають бути перевірені на: біосумісність; відсутність канцерогенного ефекту; пластичність; можливість стерилізації; можливість поєднання з методом стереолітографії; здатність зростатися з прилеглою кістковою тканиною без утворення сполучно-тканинних рубців (остеоінтеграція); сумісність з методами нейровізуалізації; стійкість до механічних навантажень; низький рівень тепло- і електропровідності; прийнятна вартість; мінімальний ризик інфекційних ускладнень.

У *другому* розділі розглянули та охарактеризували подібні системи прототипування черепних імплантатів, розробили методи побудови усередненої моделі черепа та імплантату.

Перш ніж приступити до побудови імплантату, існує необхідність формування усередненої моделі черепа, яка буде допоміжним засобом усунення дефекту черепа.

У роботі розроблено метод автоматизованого визначення геометричних характеристик імплантату за його комп'ютерною моделлю. До таких характеристик відносяться площа поверхні, висота, максимальна ширина та радіус кривизни імплантату. Максимальні висота та ширина імплантату визначаються сторонами прямокутника, в який вписується імплантат.

Площа імплантату визначається на підставі підрахунку кількості елементів зображення, що належать його поверхні, та перерахунку даного значення загальноприйняті одиниці площі.

Радіус кривизни R імплантату визначається радіусом кола, яка апроксимує контур імплантату. Аналогічно знаходяться площа, висота і ширина дефекту за комп'ютерою моделлю черепа пацієнта. За виміряними геометричними параметрами області дефекту черепа хірургом виконується процедура визначення оптимального оперативного доступу.

Досліджено, що для створення тривимірної віртуальної моделі кісток черепа проводять сегментацію зображення (автоматична розбивка зображення на змістовно інтерпретувальні області, зокрема, виділенні об'єктів, різних за своїми якісними і геометричними властивостями). Алгоритм комп’ютерної сегментації: попередня обробка зображення; фільтрація шуму; пошук границь; морфологічні перетворення; порогування; ріст регіонів.

Після сегментації та конвертації в програмне середовище OpenGL (у нашій роботі ми також проаналізували D2P, Mimics, Dision, ErWin Process Modeler), відсегментовані кістки черепа за існуючими рентгенологічними профілями HU розділяють на моделі черепа. Намічають робочий проміжок разом з зоною дефекту або деформації. Отримані дані у вигляді STL файлу експортують в програмне середовище Geomagic Freeform Plus (3D System, США). Після чого досліджують топографію, лінійні розміри та об’єм дефектів

У *третьому* розділі ми розробили алгоритми побудови 3D –моделі черепних імплантатів та описали програмні реалізації методів. Структурно зобразили схеми імплантації 3D –моделі. Структура головного функціонального блоку системи прототипування черепного імпланту наведенна на рисунку 1.

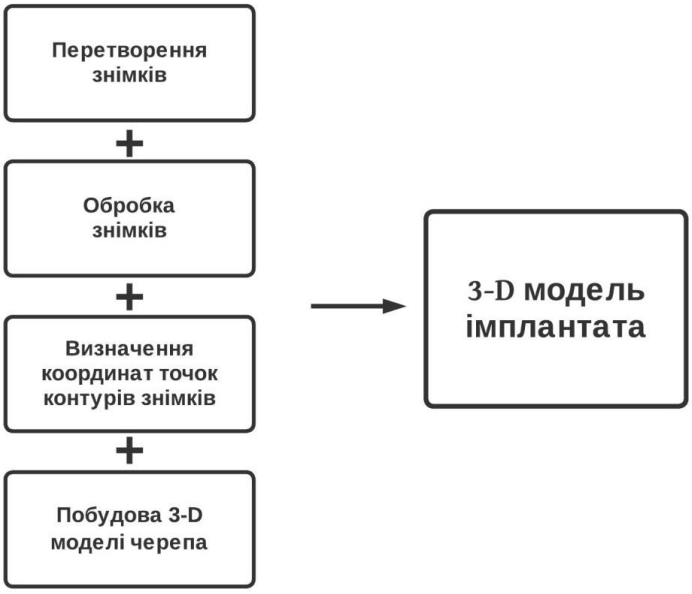

Рисунок 1– Структура головного функціонального блоку системи прототипування

У більшості прикладів дефект має латеральне розташування. Отже, для отримання черепного імплантату, система сформує дзеркальне відображення здорової ділянки кістки шляхом зчитування координат контуру, отриманих на початковому етапі в результаті обробки та сегментації зображень.

Для візуалізації імплантату засобами тривимірної графіки було використано архітектуру OpenGL, що є на даний момент одним із найпопулярніших програмних інтерфейсів (API) для розробки програм в області двовимірної та тривимірної графіки. У роботі використовувалися бібліотеки, зокрема бібліотека GLAUX, яка поступається за популярністю написаною дещо пізніше бібліотекою GLUT, хоча вони надають приблизно однакові можливості. Бібліотеки сімейства GLUT, надають широкий набір засобів взаємодії з користувачем. До їх складу входить реалізація складніших функцій, таких як набір популярних геометричних примітивів (куб, куля, циліндр, диск), функції побудови сплайнів, реалізація додаткових операцій над матрицями тощо.

В результаті користувачеві залишається сформувати файл візуалізуючий імплантат у форматі ".stl" для подальшого прототипування. Цей формат файлу широко використовується для зберігання тривимірних моделей об'єктів для використання в адитивних технологіях.

У *четвертому* розділі узагальнили та проаналізували розроблену систему прототитування, визначили основні вимоги до вихідних даних системи операційного планування, створили шість етапів системи швидкого прототипування черепних імплантатів за допомогою томографічних даних. А саме: сегментації, реконструкція кісткового дефекту, побудова об'ємної реконструкції імплантату та побудова полігональної моделі його поверхні з визначенням геометричних характеристик моделі, перетворення моделі поверхні імплантату в стандартний стереолітографічний формат stl для подальшого прототипування, створення пошарової моделі імплантату у форматі G-code з урахуванням можливостей 3D-друку на конкретному устаткуванні, завдання швидкості друку, товщини шарів, додаткових підтримок тощо, друк поверхні моделі імплантату.

В основі системи операційного планування є програмне забезпечення, базою якого є розроблені методи побудови комп'ютерних моделей черепа та черепного імплантату за рентгенографічними та томографічними даними. Програмне забезпечення дозволяє виконувати такі функції: 1) зчитувати вихідні дані у форматах DICOM та BITMAP; 2) фільтрувати та сегментувати вхідні зображення 3) визначати межі кісткових фрагментів на томограмах і формувати комп'ютерну модель черепа; 4) визначати основні анатомічні орієнтири черепа на краніограмах; 5) в інтерактивному режимі формувати комп'ютерну модель імплантата на основі 3D-моделі черепа пацієнта; 6) визначати основні геометричні характеристики імплантату; 7) зберігати дані про моделі черепа та черепного імплантату у форматі .stl для послідуючого прототипування.

ВИСНОВКИ

Діагностика та усунення наслідків черепно-мозкових пошкоджень залишається одним із актуальних завдань сучасної медицини. Для усунення наслідків черепно-мозкових травм та захисту головного мозку від зовнішніх впливів, а також для забезпечення косметичного ефекту проводиться краніопластика з використанням різних методів, засобів та матеріалів.

Технології швидкого прототипування знаходять все більше застосування в протезуванні та імплантації. Головна вимога, пропоноване до будь-якого імплантату, це надійність – здатність виконувати функції заміщення кісткової тканини протягом тривалого часу. Надійність в першу чергу обумовлена можливістю міцного вростання імплантату в кістку без запальних реакцій. Крім того, що імплантат повинен бути виготовлений з біосумісного матеріалу, мати достатню міцність, він повинен мати велику площу поверхні, що контактує з кісткою.

Розроблено програмні засоби для реалізації запропонованих методів виготовлення черепних імплантатів, що в перспективі дозволить удосконалить дану технологію у спеціалізованих нейрохірургічних клініках.

Було сформовано комплексний метод побудови комп'ютерної моделі черепного імплантату за КТ-даними в залежності від розташування черепного дефекту з використанням методів попередньої обробки зображень для підвищення точності виготовлення імплантів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

ДЕФЕКТИ ЧЕРЕПНІ, ІМПЛАНТАТ ЧЕРЕПНИЙ, ПРОТОТИПУВАННЯ ШВИДКЕ, 3-D МОДЕЛЬ, CAD/CAM/CAE ТЕХНОЛОГІЯ, КРАНІОПЛАСТИКА.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Аврунин О.Г. Этапы развития стереотаксического метода / О.Г. Аврунин, С.Ю. Масловский, В. А. Пятикоп, В. В. Семенец // Експериментальна і клінічна медицина.– 2001.– № 1.– С. 125-127.

2. Аврунин О.Г. Методика стереотаксических расчетов при интраоперационном проведении компьютерной томографии / О. Г. Аврунин // Проблемы бионики. – 2002.– № 57.

3. Аврунин О.Г. Методы визуализации внутримозговых структур на современном этапе / О. Г. Аврунин, В. В. Семенец, А. Б. Щербакова. // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. – № 4(9) – С. 107-108.

4. Аврунин О.Г., Аверьянова Л.А., Бых А.И., Головенко В.М., Скляр О.И. Методика создания виртуальных средств имитации работы рентгеновского компьютерного томографа // Техническая электродинамика. Тем. Вып. – Киев, 2007. – Т. 5, С.105-110.

5. Аврунин О.Г. Принципы построения автоматизированных нейрохирургических комплексов / О.Г. Аврунин, Т.В. Носова// Вестник НТУ «ХПИ». –2007, No 19. – С. 3–11.

6. Аврунин О. Г. Определение степени инвазивности хирургического доступа при компьютерном планировании оперативных вмешательств / О. Г. Аврунин, М. Ю. Тымкович., Х. Фарук // Бионика интеллекта. – 2013.– № 2 (81). – С. 101–104.

7. Шамраева Е.О. Построение моделей черепных имплантатов по рентгенографическим данным / Шамраева Е.О., Аврунин О.Г. // Прикладная радиоэлектроника. – 2005. – Т4, №4. – С.441 - 443.

8. Шамраева Е.О. Возможности построения моделей черепных имплантатов по стандартным рентгенографическим данным / Шамраева Е.О., Аврунин О.Г. // Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы

развития: 2-ой Международный радиоэлектронный Форум. Харьков, 19–23 сент.2005г. – Харьков, 2005. – Т.1. – С.67 – 69.

9. Аврунин О.Г., Шамраева Е.О. Реконструкция объемных моделей черепа и имплантата по томографическим снимкам // Системы обработки информации: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2007. – Вип. 9 (67). – С. 137-140.

10. Аврунин О. Г. Опыт разработки программного обеспечения для визуализации томографических данных / О. Г. Аврунин // Вісник НТУ «ХПІ». – 2006. – № 23. – С. 3 – 8.

11. Лінник М. І. Можливості застосування мультиспіральної компютерної томографії в обстежені хворих хронічним обструктивним захворюванням легень та бронхіальною астмою / М. І. Лінник, Г. Л. Гуменюк, Н. М. Мусієнко // Астма та алергія. – 2009. – № 3–4. – с. 55–61.

12. Avrunin O, Tymkovych M, Drauil J. Automatized technique for threedimensional reconstruction of cranial implant based on symmetry, Proceedings of the Information Technologies in Innovation Business Conference (ITIB). 2015. p. 39-42.

13. Левченко О. В. Сучасні методи краніопластики // Нейрохірургія. - 2010. - №. - С. 5-13.

14. Коновалів А. Н. Хірургія наслідків черепно-мозкової травми / Коновалів А. Н., Потапов А. А., Ліхтерман Л. Б., Корнієнко В. Н., Кравчук А. Д. - М., 2006. - С. 352.

15. Лебедев В. В., Крилов В. В. Невідкладна нейрохірургія: Керівництво для лікарів. - М.: Медицина, 2000. - С. 568

16. Левченко О. В., Шалумов А. З., Фарафонтов А. В. Іспользованіє безрамной навігації для пластики обширного дефекту кісток лобно-глазничной області // Нейрохірургія. - 2009. - № 1. - С. 57-62.

17. Рибак ВА, Копчак АВ, Павличук ТО. Особливості ремоделювання аутотрансплантатів із гребеня клубової кістки у пацієнтів із дефектами і деформаціями кісток лицевого черепу в ранньому та віддаленому

післяопераційному періоді. Вісн. ортопедії, травматології та протезування. 2017;(2):72-80.

18. Рибак ВА, Копчак АВ. Сучасні можливості та перспективи застосування CAD/CAM технології в лікуванні хворих із дефектами і деформаціями кісток лицевого черепа. Травма. 2015;16(3):71-8.

19. Сипитый В. И. Особенности применения методик 2D и 3D компьютерной томографии при моделировании имплантатов для краниопластики фронтоорбитальных костных дефектов / В. И. Сипитый, Ю. А. Бабалян, О. Г. Аврунин // Медицина сьогодні і завтра. — 2007. — №4. — С. 60—63.

20. Шамраева Е.О. Выбор метода сегментации костных структур на томографических изображениях / Шамраева Е.О., Аврунин О.Г. // Бионика интеллекта: информация, язык, интеллект. – 2006. – №2 (65). – С.83 - 87.

21. Шамраева Е.О. К вопросу компьютерного моделирования при проведении пластики черепных дефектов / Шамраева Е.О. // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 9-й Международный молодежный форум. Харьков, 19–21 апр.2005г. – Харьков, 2005. – С.211.

22. Пат. 79131 Україна, МПК A61B5/107. Спосіб нейрохірургічного планування при проведенні реконструктивних втручань щодо пластики фронтоорбітальних кісткових дефектів / Аврунін О.Г., Сіпітий В.І., Бабалян Ю.О., Семенець В.В., Шамраєва О.О. (Україна); патентовласник Харківський нац-й ун-т радіоелектроніки. – №a200501307; заявл. 14.02.2005; публ. 25.05.2007, Бюл.№7.

23. Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія / [С.В. Павлов, О.Г. Аврунін, С.М. Злепко, Є.В. Бодянський та ін.]; за редакцією С. Павлова, О. Авруніна. – Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2019. – 260 с.

24. Основи реєстрації та аналізу біосигналів. Навчальний посібник / О.Г. Аврунін, В.В. Семенець, В.Г. Абакумов, З.Ю. Готра, С.М. Злепко, А.В. Кіпенський, С.В. Павлов. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 400 с. doi:10.30837/978-

966-659-257-9

25. Тымкович М.Ю. Использование DICOM-изображений в медицинских системах / М. Ю. Тымкович, О. Г. Аврунин, В. В. Семенец // Техн. электродинамика: Тематич. вып. – 2012. – Т.4. – С. 178-183.

26. Книгавко, Ю.В. Программная визуализация объемных медицинских данных / Ю.В. Книгавко, О.Г. Аврунин // Журн.Техн.електродинаміка – 2011. – С. 301-308.

27. Avrunin, O. G., Tymkovych, M. Y., Abdelhamid, I. Y., Shushliapina, N. O., Nosova, Y. V., & Semenets, V. V., “Features of image segmentation of the upper respiratory tract for planning of rhinosurgical surgery,” 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology ELNANO, 485-488 (2019). doi:10.1109/ELNANO.2019.8783739

28. Selivanova KG, Avrunin OG, Tymkovych MY, Manhora TV, Oleh S, Bezverkhyi OS, et al. 3D visualization of human body internal structures surface during stereo-endoscopic operations using computer vision techniques. Przeglad Elektrotechniczny. 2021;97(9):30-3.

29. System of three-dimensional human face images formation for plastic and reconstructive medicine / Ya. Nosova, S. Pavlov, O. Avrunin, O. Hrushko, N. Shushlyapina // Teaching and subjects on bio-medical engineering. Approaches and experiences from the BIOART-project. – Corresponding authors, Peter Arras and David Luengo. – Printed by Acco cv, Leuven (Belgium), 2021. – P.187–203.