

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

«На правах рукопису»
УДК 617.58

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Владислав ШЛИКОВ
«___» _____ 2023 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Медична інженерія»

зі спеціальності 163 «Біомедична інженерія»

**на тему: «Комп'ютерна система на основі веб-додатку для вивчення розподілу
навантажень в ендопротезах»**

Виконав:

студент VI курсу, групи БМ-21мп
Голдак Костянтин Сергійович

Науковий керівник:

Професор кафедри БМІ, д.т.н,
Лебедев Олексій Володимирович

Рецензент:

Завідувач кафедри ББЗЛ, д.мед.н., проф.
Худецький Ігор Юліанович

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет біомедичної інженерії
Кафедра біомедичної інженерії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 163 «Біомедична інженерія»

Освітньо-професійна програма «Медична інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Владислав ШЛИКОВ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Голдаку Костянтину Сергійовичу

1. Тема дисертації «Комп'ютерна система на основі веб-додатку для вивчення розподілу навантажень в ендопротезах», науковий керівник дисертації Лебедев Олексій Володимирович, професор кафедри БМІ, д.т.н, затверджені наказом по університету від «__» _____ 2023 р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації - _____
3. Об'єкт дослідження – комп'ютерна система аналізу навантажень на основі веб-додатку.
4. Вихідні дані – сформована і працююча система для лікарень на основі веб-застосунку.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Визначити основні проблеми захворювання опорно-рухової системи людини та описання основних хірургічних методів їх усунення. 2. Визначення основних анатомічних структур опорно-рухового апарату та типу протезів необхідних для 3D-візуалізації. 3.Проведення сегментації по комп'ютерній томографії(КТ) та створення 3D-моделі необхідної надалі для моделювання протезу. 4.Моделювання протезу у програмному середовищі SolidWorks.

5.Проведення розрахунку навантажень та деформацій у програмному середовищі.
 6.Перевірка імплантів і автоматизація веб застосунку, що здійснюватиме математичний аналіз навантажень для різних типів матеріалів. 7.Формулювання висновків відносно доцільності створення подібного аналітичного додатку.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу – зображення, таблиці

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Визначення теми дипломної роботи	01.05.2023	
2.	Визначення плану роботи	22.06.2023	
3.	Огляд літературних джерел	01.08.2023	
4.	Вибір програмного забезпечення	15.09.2023	
5.	Робота в програмному середовищі SolidWorks	07.10.2023	
6.	Аналіз моделей	23.11.2023	
7.	Перевірка системи	20.12.2023	
8.	Оформлення дипломної роботи	01.01.2024	
9.	Розробка стартап-проекту	04.01.2024	
10.	Підготовка до захисту	12.01.2024	
11.	Захист дипломної роботи	16.01.2024	

Студент

Костянтин Голдак

Науковий керівник

Олексій Лебедєв

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	5
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОРЕКЦІЇ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ.....	11
1.1 Огляд існуючих методів корекції опорно-рухового апарату	11
1.2 Аналіз ефективності методів корекції	28
1.3 Перспективи розвитку та вдосконалення методів корекції	30
1.4 Обґрунтування вибору ендопротезу стегнової кістки як основи для магістерської роботи	31
1.5 Постановка задачі.....	33
Висновки до розділу 1.....	34
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЧНА ТА МАТЕРІАЛЬНА БАЗА ДЛЯ МОДЕЛІ ЕНДОПРОТЕЗУ СТЕГНОВОЇ КІСТКИ.....	36
2.1 Основи моделювання	36
2.2 Вибір програмного забезпечення	38
2.3 Алгоритм процедури.....	43
Висновки до розділу 2	47
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕНДОПРОТЕЗУ КІСТКИ	49
3.1 Сегментація 3-D моделі кістки в середовищі 3D Slicer	49
3.2 Моделювання ендопротезу в програмному середовищі Solidworks	50
3.3 Аналіз моделі у програмному середовищі SimSolid та OnScale.....	52
3.4 Перевірка моделі в програмному забезпеченні OnScale та переваги даного програмного забезпечення.....	53
Висновки до розділу 3	57
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	58
4.1 Ідея проекту	58
4.2 Технологічний аудит концепції проекту.....	61
4.3 Оцінка ринкових можливостей стартапу	62
4.4 Стратегія ринкового розвитку проекту	72
4.5 Розроблення маркетингової стратегії стартапу	74
Висновки до розділу 4	78
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	81

АНОТАЦІЯ

Тема переддипломної практики: «Комп'ютерна система на основі веб- додатку для вивчення розподілу навантажень в ендопротезах».

Під час написання роботи було створено модель ендопротезу сегнової кістки на основі КТ-знімків. Розміри кістки відповідають середньостатистичним даним, а розміри протеза відповідають технічним вимогам виробника. Створена система на основі веб застосунку OnScale, що дозволяє автоматизувати процес аналізу ендопротезів з навантаженням змінюючи матеріали виконання конструкції.

Дисертаційна робота складається з 4 розділів, налічує 84 сторінок друкованого тексту та включає у себе 19 таблиць, 15 рисунків, та список використаних джерел у кількості 42. У першому розділі було здійснено огляд літератури з приводу захворювань опорно рухового апарату, розглянуто методи вирішення таких проблем та визначено задачі для удосконалення рішень проблем протезування. У другому обрано програмне забезпечення для моделювання, аналізу та автоматизації процесу, а також розроблено алгоритм для здійснення автоматизації. У третьому розділі надано інформацію про моделювання та аналіз віртуального ендопротезу і описано створена система для проведення аналізу. Четвертий розділ присвячений розробці стартап-проекту та стратегій його реалізації.

Мета: Оптимізація та пришвидшення процесу механічного аналізу розподілу навантажень на матеріали, що можуть бути використані у протезуванні або ендопротезуванні, на основі змодельованої кістки у поєднанні з протезом.

Завдання: Провести літературний огляд анатомічної структури і захворювань опорно-рухового апарату людини; сегментація для створення 3D моделі кістки; моделювання протезу у програмному середовищі SolidWorks; перевірка імплантів і автоматизація веб застосунку «OnScale solve», що здійснюватиме математичний аналіз навантажень для різних типів матеріалів.

Ключові слова: ендопротез, опорно-руховий апарат, сегментація, 3D моделювання, веб-додаток, аналіз навантажень.

SUMMARY

Topic of pre-diploma practice: "A computer system based on a web application for studying the distribution of loads in endoprostheses."

During the writing of the work, a model of femoral endoprosthesis was created based on CT images. The dimensions of the bone correspond to the average statistical data, and the dimensions of the prosthesis correspond to the technical requirements of the manufacturer. A system based on the OnScale web application was created, which allows you to automate the process of analyzing endoprostheses with a load by changing the construction materials

The dissertation consists of 4 chapters, has 84 pages of printed text and includes 19 tables, 15 images, and a list of used sources in the amount of 42. In the first chapter, a review of the literature on diseases of the musculoskeletal system was carried out, methods of solving such problems were considered and tasks for improving solutions to problems of prosthetics are defined. In the second, the software for modeling, analysis and automation of the process is selected, and an algorithm for automation is developed. The third section provides information on modeling and analysis of a virtual endoprosthesis and describes the created system for analysis. The fourth chapter is devoted to the development of a startup project and strategies for its implementation.

Purpose: Optimization and acceleration of the process of mechanical analysis of the distribution of loads on materials that can be used in prosthetics or endoprosthetics, based on a simulated bone in combination with a prosthesis.

Task: Conduct a literature review of the anatomical structure and diseases of the human musculoskeletal system; segmentation to create a 3D bone model; prosthesis modeling in the SolidWorks software environment; inspection of implants and automation of the web application "OnScale solve", which will perform mathematical analysis of loads for different types of materials.

Keywords: endoprosthesis, musculoskeletal system, segmentation, 3D modeling, web application, load analysis.

ВСТУП

Ендопротезування суглобів є важливою галуззю медицини, спрямованою на поліпшення якості життя пацієнтів, які стикаються з хворобами суглобів або травмами опорно-рухового апарату. Однак, незважаючи на значний успіх цієї методики, існує питання щодо довговічності імплантатів та ризику ускладнень. Ревізії, або повторні операції для заміни або корекції ендопротезів, можуть стати необхідними у деяких випадках, і вони супроводжуються високими витратами, дискомфортом для пацієнта та підвищеним ризиком ускладнень.

Аналіз статистики показує, що в деяких випадках відсоток ревізій може бути значним. Наприклад у 18% пацієнтів яким проводили операцію по заміні кульшового суглобу, з'являється необхідність в ревізійній операції [1], а для ендопротезів колінного суглоба ризик ревізії становить 17% через 5 років, 33% через 10 років і навіть більше 50% через 20 років[2]. І це навіть не додаючи інші типи ендо- та звичайних протезів(таких як ліктьові, плечові, та заміни частин вражених хворобами кісток)

Це ставить під сумнів якість та тривалість служби ендопротезів і спонукає до пошуку інноваційних рішень для зменшення цього ризику. Одним із ключових аспектів, що варто дослідити, є розподіл навантажень на імплантати під час рухів та динамічних навантажень, оскільки неправильний розподіл навантажень може призвести до зносу, пошкоджень та, в кінцевому підсумку, до потреби в ревізії.

Актуальність теми. Актуальність дослідження " Комп'ютерна система на основі веб-додатку для вивчення розподілу навантажень в ендопротезах" визначається низкою факторів, що впливають на сферу медицини та якість життя пацієнтів. Перш за все, зростаюча кількість осіб із захворюваннями суглобів та потреба в імплантації ендопротезів створюють підвищену потребу у розробці та застосуванні новітніх технологій для оптимізації лікування та відновлення пацієнтів.

Другий аспект актуальності полягає в прагненні до досягнення максимальної ефективності та тривалості служби ендопротезів. Дефекти в

розподілі навантажень на імпланти можуть призвести до їхнього швидкого зносу, а також спричинити біль та ускладнення для пацієнтів. Тому розробка системи, яка б дозволяла постійно моніторити та аналізувати цей розподіл, є докорінною інновацією.

Третій фактор актуальності пов'язаний з постійним розвитком комп'ютерних технологій та обробки даних. Сучасні обчислювальні системи, алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту дозволяють отримувати більш точні та надійні дані про розподіл навантажень, що створює найкращі можливості для розробки комп'ютерних систем у цій області.

Четвертий аспект полягає у покращенні пацієнтського досвіду. Завдяки комп'ютерній системі, яка допомагає вивчити розподіл навантажень, лікарі можуть персоналізувати план лікування для кожного пацієнта, що покращує результати та зменшує ризик послідовних втручань.

Врешті-решт, п'ятий аспект актуальності пов'язаний з економічними перевагами. Подовження терміну служби ендопротезів і уникнення ускладнень завдяки більш точному розподілу навантажень може великою мірою зменшити витрати на лікування та реабілітацію, а також поліпшити якість життя пацієнтів. Тому дослідження в галузі комп'ютерних систем для вивчення розподілу навантажень у ендопротезах має надзвичайно важливе значення для медицини та суспільства загалом.

Тема: Комп'ютерна система на основі веб-додатку для вивчення розподілу навантажень в ендопротезах.

Мета: Персоніфікована оптимізація та пришвидшення процесу механічного аналізу розподілу навантажень на матеріали, що можуть бути використані у протезуванні або ендопротезуванні, на основі змодельованої кістки у поєднанні з протезом.

Для досягнення мети сформовані такі завдання:

1. Визначити основні проблеми захворювання опорно-рухової системи людини та описання основних хірургічних методів їх усунення;
2. Визначення основних анатомічних структур опорно-рухового апарату та

типу протезів необхідних для 3D-візуалізації;

3.Проведення сегментації по комп'ютерній томографії(KT) та створення 3D-моделі необхідної надалі для моделювання протезу;

4.Моделювання протезу у програмному середовищі SolidWorks;

5.Проведення розрахунку навантажень та деформацій у програмному середовищі;

6.Перевірка імплантів і автоматизація веб застосунку, що здійснюватиме математичний аналіз навантажень для різних типів матеріалів;

7.Формулювання висновків відносно доцільності створення подібного аналітичного додатку;

Наукова новизна одержаних результатів. Новизна полягає у впровадженні інноваційних підходів та можливостей, які покращують точність та доступність цього інструмента. Ця система пропонує низку наукових новизн, серед яких виділяються такі:

1.Доступність та мобільність: Веб-версія системи дозволяє користувачам отримувати доступ до неї з будь-якого пристрою з підключенням до Інтернету. Це робить систему більш мобільною та доступною для лікарів та дослідників, що працюють на різних платформах та в різних місцях.

2.Реальний час та збір даних: Веб-версія дозволяє в реальному часі моніторити розподіл навантажень на ендопротези під час рухів пацієнта. Вона використовує сучасні сенсори та технології для збору даних, що дозволяє отримувати найточнішу інформацію.

3.Аналіз великих обсягів даних: Веб-версія підтримує аналіз великих обсягів даних, що дозволяє проводити більш глибокий та комплексний аналіз розподілу навантажень. Це важливо для виявлення паттернів та залежностей у функціонуванні ендопротезів.

Інтеграція з іншими медичними системами: Веб-версія системи може бути легко інтегрована з іншими медичними інформаційними системами, що дозволяє обмінюватися даними та спрощує координацію лікування пацієнтів.

4.Спільництво та дослідницькі можливості: Веб-версія створює можливість

для співпраці між лікарями, науковцями та дослідниками з усього світу. Вона підтримує спільну роботу над дослідженнями та обмін знаннями.

5.Завдяки цим науковим новизнам, веб-версія комп'ютерної системи для вивчення розподілу навантажень в ендопротезах стає потужним інструментом у сфері медицини та досліджень, що може покращити якість лікування та сприяти подальшим науковим відкриттям в галузі ортопедії та біомедичної інженерії.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОРЕКЦІЇ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ

1.1 Огляд існуючих методів корекції опорно-рухового апарату

В сучасній медицині та ортопедії існує різноманітність методів та технологій, спрямованих на корекцію та відновлення опорно-рухового апарату пацієнтів з хворобами або ураженнями суглобів та кісток. Пункт 1.1 роботи присвячений огляду та аналізу цих методів, їхньої наукової новизни, ефективності та можливостей застосування в контексті вивчення розподілу навантажень в ендопротезах. Даний розділ має на меті з'ясувати, які методи корекції опорно-рухового апарату вже існують, їх переваги та недоліки, а також визначити ті аспекти, де може виникнути потреба в нових технологіях та інноваціях.

Методи корекції опорно-рухового апарату включають в себе широкий спектр підходів та процедур, спрямованих на відновлення функціональності та структурного цілісності опорно-рухового апарату пацієнта. Враховуючи різні стани пацієнтів, такі як хвороби суглобів, травми, деформації або знос, використовуються різноманітні методи корекції. Давайте розглянемо детальніше деякі з них

Хірургічні втручання:

1. Артроскопічні операції

Основна мета:

Артроскопічні операції є малонвазивним методом, який дозволяє проводити хірургічні втручання через невеликі розрізи, використовуючи артроскоп для візуалізації суглобової порожнини.

Застосування:

Вони ефективно використовуються для діагностики та лікування пошкоджень суглобів, таких як артроз, мінірні дефекти хряща та травматичні ушкодження[42].

2. Реконструкція Суглобів

Оперативний втручання:

Реконструкція суглобів включає відновлення або заміну елементів суглобової структури, таких як зв'язки, хрящі чи суглобова капсула.

Застосування:

Цей метод використовується для відновлення структури суглоба після травматичних подій або хронічних захворювань.

3. Остеотомія

Хірургічний Втручання:

Остеотомія включає в себе виправлення або перенаправлення кісток для поліпшення збалансування суглобів та відновлення їхньої функції.

Застосування:

Цей метод часто застосовується для лікування деформацій кісток, таких як осі основних великих суглобів.

4. Артродез

Процедура:

Артродез включає в себе фіксацію суглоба, що призводить до його об'єднання, забезпечуючи стабільність та усунення болю.

Застосування:

Застосовується при хронічних захворюваннях суглобів, таких як артрит, коли інші методи лікування не ефективні.

Фізіотерапія та реабілітація:

1. Фізична терапія

Основна Мета:

Фізична терапія спрямована на покращення функцій суглобів та м'язів, зменшення болю та відновлення нормального обсягу руху через спеціальні вправи та процедури.

Застосування:

Використовується для лікування різних станів, таких як травми, артрит, деформації суглобів, дискомфорт та дефіцит рухливості.

2. Масаж

Техніки Масажу:

Різні техніки масажу використовуються для поліпшення кровообігу, розслаблення м'язів, зменшення болю та покращення гнучкості.

Застосування:

Масаж часто застосовується для лікування напруги, травм, а також для поліпшення тону м'язів та стимуляції реабілітації[3].

3. Ультразвукова терапія

Принцип Роботи:

Використання ультразвукових хвиль для зменшення запалення, поліпшення кровообігу та сприяння відновленню тканин.

Застосування:

Ультразвукова терапія ефективна при лікуванні травм, артрити та інших захворювань, сприяючи швидшому відновленню.

4. Електростимуляція

Методика Використання:

Використання електричних імпульсів для стимуляції м'язів, зокрема у випадках, коли самостійна активність обмежена.

Застосування:

Ефективна у відновленні м'язової сили та уникненні атрофії м'язів під час реабілітації[4].

5. Терапія Водою

Основні Принципи:

Вправи та рухання у воді дозволяють зменшити навантаження на суглоби та м'язи, поліпшити гнучкість та координацію.

Застосування:

Особливо корисна для тих, хто має обмеження в русі або вагітні, де вода надає підтримку тілу.

6. Терапія Ваговими Навантаженнями

Застосування:

Використовується для покращення м'язової маси, збільшення міцності та

вдосконалення координації за допомогою вагових тренажерів та важків.

Корекційні ортези та апарати:

1. Ортопедичні взуття та устілки

Основна Мета:

Ортопедичне взуття та устілки розроблені для підтримки правильної анатомії стопи, корекції деформацій та поліпшення постави.

Застосування:

Ефективне при лікуванні плоскостопості, вальгусних та варусних деформацій стоп, а також для зменшення навантаження на суглоби.

2. Корсети та ортези для Хребта

Типи Корсетів:

Різні види корсетів використовуються для підтримки та стабілізації хребта в залежності від характеру патології.

Застосування:

Корсети застосовуються при сколіозі, кифозі, грижах міжхребцевих дисків та інших захворюваннях хребта[7].

3. Анклети та Манжети для суглобів(Рис 1.1)



Рис. 1.1 – Манжета на стопу

Роль Анклет та Манжет:

Ці ортези використовуються для підтримки та стабілізації суглобів,

зменшення болю та попередження травм.

Застосування:

Ефективні для лікування артритів, травм суглобів, а також для забезпечення підтримки при фізичних навантаженнях.

4. Динамічні Коректори Позиції

Принцип Дії:

Динамічні коректори розроблені для поступової корекції позиції тіла та стимулювання правильної постави.

Застосування:

Використовуються для лікування сколіозу, кифозу та інших відхилень від нормальної позиції тіла[10].

5. Ендопротези та Імпланти

Технологічні Вдосконалення:

Сучасні ендопротези та імпланти надають можливість відновлення функцій суглобів та кісток.

Застосування:

Широко використовуються в хірургічних втручаннях для відновлення мобільності та поліпшення якості життя пацієнтів з артритом або травмами суглобів.

6. Корекційні Тренажери

Види Тренажерів:

Розроблені для зміцнення м'язів, відновлення рухливості та корекції деформацій опорно-рухового апарату[5].

Застосування:

Ефективні при комплексному лікуванні пацієнтів з різноманітними патологіями, зокрема при артритах та деформаціях.

Фармакотерапія:

1. Протизапальні Препарати

Типи:

Протизапальні медикаменти, такі як нестероїдні протизапальні препарати

(НППП), допомагають зменшити запалення та біль у суглобах.

Застосування:

Використовуються для лікування ревматоїдного артрити, остеоартрити та інших захворювань, пов'язаних з запаленням.

2. Хондропротектори

Дія:

Хондропротектори сприяють відновленню та зміцненню хрящової тканини суглобів.

Застосування:

Використовуються для лікування та профілактики дегенеративних захворювань суглобів, зокрема остеоартрозу.

3. с

Дія:

М'язові релаксанти розслаблюють м'язи, сприяючи зменшенню болю та покращенню рухливості[41].

Застосування:

Ефективні при лікуванні м'язових спазмів та болю, пов'язаного з напругою м'язів.

4. Анальгетики

Типи:

Анальгетики призначені для полегшення болю без зменшення запалення.

Застосування:

Використовуються для симптоматичного лікування болю при різних захворюваннях суглобів та м'язів.

5. Глюкокортикостероїди

Дія:

Глюкокортикостероїди мають потужний протизапальний ефект та застосовуються для лікування запальних захворювань суглобів.

Застосування:

Зазвичай використовуються для ін'єкційного введення в суглоби при

ревматоїдному артриті та інших подібних станах.

6. Біологічні Препарати

Характеристики:

Біологічні препарати спрямовані на модифікацію відповіді імунної системи та використовуються в лікуванні ревматичних захворювань.

Застосування:

Вони ефективні при невідповіді на інші методи лікування та призначаються у складних випадках.

Імплантація ендопротезів:

Ендопротезування - це хірургічна операція, при якій пошкоджені або зруйновані частини суглоба замінюються на штучні аналоги. Ендопротези виготовляються з різних матеріалів, таких як метал, пластик і кераміка.

Типи ендопротезів

Існує два основних типи ендопротезів:

- Тотальне ендопротезування - це заміна всіх пошкоджених частин суглоба.
- Часткове ендопротезування - це заміна лише частини суглоба.

Тотальне ендопротезування (Рис. 1.2



Рис. 1.2 – Тотальне ендопротезування кульшових суглобів

Тотальне ендопротезування - це хірургічна операція, при якій всі пошкоджені частини суглоба замінюються на штучні аналоги. Ендопротези виготовляються з різних матеріалів, таких як метал, пластик і кераміка.

Показання до тотального ендопротезування

Тотальне ендопротезування показане при повному руйнуванні суглоба. При цьому пацієнт відчуває сильний біль у суглобі, скутість і обмеження рухливості.

До найбільш поширених захворювань, при яких показане тотальне ендопротезування, відносяться:

- Остеоартроз;
- Ревматоїдний артрит;
- Асептичний некроз кістки;
- Травма суглоба;

Протипоказання до тотального ендопротезування

Тотальне ендопротезування протипоказано при наявності наступних станів:

- Захворювання крові, які ускладнюють згортання крові;
- Інфекційні захворювання;
- Ожиріння;
- Загальне поганий стан здоров'я;

Етапи операції

Операція з тотального ендопротезування проводиться під загальним наркозом. Хірург робить надріз в області суглоба і видаляє пошкоджені частини суглоба. Потім хірург імплантує штучні аналоги цих структур.

Тотальне ендопротезування кульшового суглоба[29].

Тотальне ендопротезування кульшового суглоба проводиться через надріз в області стегна. Хірург видаляє головку стегнової кістки і ацетабулярну чашу. Потім хірург імплантує штучну головку стегнової кістки і штучну ацетабулярну чашу.

Тотальне ендопротезування колінного суглоба

Тотальне ендопротезування колінного суглоба проводиться через надріз в області коліна. Хірург видаляє пошкоджені частини стегнової кістки,

великогомілкової кістки і надколінка. Потім хірург імплантує штучні аналоги цих структур.

Реабілітація після операції

Реабілітація після операції з тотального ендопротезування є важливою частиною процесу одужання. Реабілітація включає в себе фізіотерапію, лікувальну гімнастику та інші заходи.

Мета реабілітації - допомогти пацієнту відновити рухливість суглоба і повернути його до нормального життя.

Тривалість реабілітації

Тривалість реабілітації після операції з тотального ендопротезування залежить від багатьох факторів, таких як вік пацієнта, загальний стан здоров'я, тип ендопротезу та інші.

Зазвичай, пацієнти можуть ходити з милицями або тростиною протягом декількох тижнів після операції. Потім вони поступово починають збільшувати навантаження на суглоб.

У більшості випадків, пацієнти можуть повернутися до звичайного життя через 6-12 місяців після операції[24].

Ускладнення після операції

Імплантація ендопротезу - це безпечна операція, але вона може супроводжуватися деякими ускладненнями. До найбільш поширених ускладнень після операції з тотального ендопротезування відносяться:

- Запалення;
- Інфекція;
- Розхитування ендопротезу;
- Повторне ураження суглоба;

Запалення

Запалення є нормальним процесом після будь-якої операції. Воно зазвичай проходить самостійно протягом декількох тижнів.

Інфекція

Інфекція є серйозним ускладненням, яке може призвести до необхідності

видалення ендопротезу.

Розхитування ендопротезу

Розхитування ендопротезу може виникнути через декілька років після операції. Воно може призвести до болю і втрати рухливості суглоба.

Повторне ураження суглоба

Повторне ураження суглоба може виникнути через багато років після операції[7].

Часткове ендопротезування (Рис 1.3)



Рис. 1.3 – Часткове ендопротезування колінних суглобів

Часткове ендопротезування - це хірургічна операція, при якій видаляються лише пошкоджені частини суглоба, а здорові частини залишаються на місці.

Показання до часткового ендопротезування

Часткове ендопротезування показано при частковому руйнуванні суглоба. При цьому пацієнт відчуває біль у суглобі, але рухливість суглоба не сильно обмежена.

До найбільш поширених захворювань, при яких показане часткове ендопротезування, відносяться:

- Остеоартроз;
- Ревматоїдний артрит;
- Асептичний некроз кістки;
- Травма суглоба;

Протипоказання до часткового ендопротезування

Часткове ендопротезування протипоказано при наявності наступних станів:

- Захворювання крові, які ускладнюють згортання крові;
- Інфекційні захворювання;
- Ожиріння;
- Загальне поганий стан здоров'я;

Етапи операції

Операція з часткового ендопротезування проводиться під загальним наркозом. Хірург робить надріз в області суглоба і видаляє пошкоджені частини суглоба. Потім хірург імплантує штучні аналоги цих структур.

Часткове ендопротезування кульшового суглоба

Часткове ендопротезування кульшового суглоба проводиться через надріз в області стегна. Хірург видаляє головку стегнової кістки. Потім хірург імплантує штучну головку стегнової кістки.

Часткове ендопротезування колінного суглоба

Часткове ендопротезування колінного суглоба проводиться через надріз в області коліна. Хірург видаляє пошкоджені частини стегнової кістки або великогомілкової кістки. Потім хірург імплантує штучні аналоги цих структур.

Реабілітація після операції

Реабілітація після операції з часткового ендопротезування є менш інтенсивною, ніж після операції з тотального ендопротезування. Реабілітація включає в себе фізіотерапію, лікувальну гімнастику та інші заходи.

Мета реабілітації - допомогти пацієнту відновити рухливість суглоба і повернути його до нормального життя.

Тривалість реабілітації

Тривалість реабілітації після операції з часткового ендопротезування залежить від багатьох факторів, таких як вік пацієнта, загальний стан здоров'я, тип ендопротезу та інші.

Зазвичай, пацієнти можуть ходити без милиць або тростини протягом декількох днів після операції. Потім вони поступово починають збільшувати

навантаження на суглоб.

У більшості випадків, пацієнти можуть повернутися до звичайного життя через 3-6 місяців після операції.

Ускладнення після операції

Імплантація ендопротезу - це безпечна операція, але вона може супроводжуватися деякими ускладненнями. До найбільш поширених ускладнень після операції з часткового ендопротезування відносяться:

- Запалення;
- Інфекція;
- Розхитування ендопротезу;

Запалення

Запалення є нормальним процесом після будь-якої операції. Воно зазвичай проходить самостійно протягом декількох тижнів.

Інфекція

Інфекція є серйозним ускладненням, яке може призвести до необхідності видалення ендопротезу.

Розхитування ендопротезу

Розхитування ендопротезу може виникнути через декілька років після операції. Воно може призвести до болю і втрати рухливості суглоба.

Переваги часткового ендопротезування

Часткове ендопротезування має ряд переваг перед тотальним ендопротезуванням, таких як:

- Менша інтенсивність операції;
- Більш швидка реабілітація;
- Більш низька вартість;

Етапи імплантації ендопротезу

Імплантація ендопротезу - це складна хірургічна операція, яка проводиться під загальним наркозом. Операція проводиться в кілька етапів:

1. Підготовка до операції

Перед операцією пацієнту проводиться обстеження, яке включає в себе

аналізи крові, рентгенографію і інші дослідження. Мета обстеження - оцінити стан здоров'я пацієнта і визначити, чи є він придатним для операції[11].

2. Операція

Операція проводиться під загальним наркозом. Хірург робить надріз в області суглоба і видаляє пошкоджені частини суглоба. Потім хірург імплантує штучні аналоги цих структур.

3. Зашивання рани

Після імплантації ендопротезу рана зашивається.

Реабілітація після операції

Реабілітація після операції імплантації ендопротезу є важливою частиною процесу одужання. Реабілітація включає в себе фізіотерапію, лікувальну гімнастику та інші заходи. Мета реабілітації - допомогти пацієнту відновити рухливість суглоба і повернути його до нормального життя.

Результати імплантації ендопротезу

Імплантація ендопротезу - це складна хірургічна операція, яка проводиться під загальним наркозом. Операція проводиться в кілька етапів:

1. Підготовка до операції

Перед операцією пацієнту проводиться обстеження, яке включає в себе аналізи крові, рентгенографію і інші дослідження. Мета обстеження - оцінити стан здоров'я пацієнта і визначити, чи є він придатним для операції.

2. Операція

Операція проводиться під загальним наркозом. Хірург робить надріз в області суглоба і видаляє пошкоджені частини суглоба. Потім хірург імплантує штучні аналоги цих структур[8].

3. Зашивання рани

Після імплантації ендопротезу рана зашивається.

Етап 1: Підготовка до операції

Перед операцією пацієнту необхідно пройти такі обстеження:

- Аналіз крові;
- Рентгенографія суглоба;

- Інші дослідження, які можуть бути призначені лікарем;

Ці обстеження дозволяють оцінити стан здоров'я пацієнта і визначити, чи є він придатним для операції.

Етап 2: Операція

Операція з імплантації ендопротезу проводиться під загальним наркозом. Хірург робить надріз в області суглоба і видаляє пошкоджені частини суглоба. Потім хірург імплантує штучні аналоги цих структур.

Етап 2.1: Вирізка кісток

Хірург робить надріз в області суглоба і розсовує м'язи і сухожилля. Потім хірург вирізає пошкоджені частини кісток, які будуть замінені штучними аналогами.

Етап 2.2: Підготовка штучних аналогів

Хірург підготовляє штучні аналоги для імплантації. Штучні аналоги виготовляються з різних матеріалів, таких як метал, пластик і кераміка. Вони повинні відповідати розміру і формі пошкоджених частин суглоба.

Етап 2.3: Імплантація штучних аналогів

Хірург імплантує штучні аналоги в кістки. Штучні аналоги фіксуються в кістках за допомогою цементу або безцементної технології.

Етап 2.4: Зашивання рани

Після імплантації штучних аналогів рана зашивається.

Етап 3: Завершення операції

Після операції пацієнта переводять у палату. Пацієнт повинен перебувати в лікарні протягом декількох днів, щоб спостерігати за його станом.

Післяопераційне лікування

Після операції пацієнт повинен дотримуватися рекомендацій лікаря.

Рекомендації можуть включати в себе:

- Вживання знеболюючих препаратів;
- Спостереження за раною;
- Фізіотерапію;

Фізіотерапія допомагає пацієнту відновити рухливість суглоба.

Тривалість реабілітації

Тривалість реабілітації після операції з імплантації ендопротезу залежить від багатьох факторів, таких як вік пацієнта, загальний стан здоров'я, тип ендопротезу та інші.

Зазвичай, пацієнти можуть ходити без милиць або тростини протягом декількох тижнів після операції. Потім вони поступово починають збільшувати навантаження на суглоб.

У більшості випадків, пацієнти можуть повернутися до звичайного життя через 6-12 місяців після операції.

Ефективність імплантації ендопротезу

Ефективність імплантації ендопротезу залежить від багатьох факторів, таких як:

- Тип ендопротезу;
- Характер ураження суглоба;
- Вік пацієнта;
- Загальний стан здоров'я пацієнта;

Тип ендопротезу

Тотальне ендопротезування є більш ефективним, ніж часткове ендопротезування. Це пов'язано з тим, що при тотальному ендопротезуванні видаляються всі пошкоджені частини суглоба, що забезпечує більш плавне і безболісне рухання[22].

Характер ураження суглоба

При більш важких формах ураження суглоба імплантація ендопротезу може бути менш ефективною. Це пов'язано з тим, що у таких випадках може бути пошкоджена більша частина суглоба, що ускладнює імплантацію ендопротезу.

Вік пацієнта

У молодших пацієнтів ендопротези, як правило, служать довше, ніж у старших пацієнтів. Це пов'язано з тим, що у молодих пацієнтів більш активний спосіб життя, що може призвести до більшого навантаження на ендопротез.

Загальний стан здоров'я пацієнта

Пацієнти з хорошим загальним станом здоров'я, як правило, мають більш високий шанс успішної імплантації ендопротезу. Це пов'язано з тим, що у таких пацієнтів організм краще справляється з операцією і реабілітацією.

За даними досліджень, ефективність імплантації ендопротезу становить близько 90%. Це означає, що у 90% пацієнтів після операції спостерігається значне покращення болю, скутості і рухливості суглоба.

Після імплантації ендопротезу пацієнти можуть вести нормальний спосіб життя. Вони можуть ходити, бігати, займатися спортом і виконувати інші активні види діяльності.

Однак, слід пам'ятати, що ендопротези не є вічними. Вони можуть потребувати заміни через 10-20 років після операції.

Тип ендопротезу

Тип ендопротезу вибирається лікарем, виходячи з індивідуальних особливостей пацієнта і характеру ураження суглоба.

Залежно від того, які частини суглоба замінюються штучними аналогами, ендопротези поділяються на:

- Тотальні ендопротези - замінюють всі пошкоджені частини суглоба;
- Часткові ендопротези - замінюють лише пошкоджені частини суглоба, залишаючи здорові частини на місці;

Залежно від матеріалу, з якого виготовлені штучні аналоги, ендопротези поділяються на:

- Металеві ендопротези - виготовляються з металів, таких як титан, сталь або кобальто-хромовий сплав;
- Полімерні ендопротези - виготовляються з пластиків, таких як високомолекулярний поліетилен або металокераміка;
- Керамічні ендопротези - виготовляються з кераміки, таких як алюмінієво-кристалічна кераміко-металева суміш;

Залежно від способу фіксації штучних аналогів у кістках, ендопротези поділяються на:

- Цементні ендопротези - фіксуються в кістках за допомогою цементу;

- Безцементні ендопротези - фіксуються в кістках за рахунок вrostання кісткової тканини в штучні аналоги;

Тотальні ендопротези

Тотальні ендопротези замінюють всі пошкоджені частини суглоба, включаючи головку стегнової кістки, ацетабулярну чашу, вертлюжну чашечку і надколінок.

Тотальні ендопротези можуть бути металевими, полімерними або керамічними. Вони можуть бути цементними або безцементними.

Часткові ендопротези

Часткові ендопротези замінюють лише пошкоджені частини суглоба, залишаючи здорові частини на місці.

Часткові ендопротези можуть бути металевими, полімерними або керамічними. Вони можуть бути цементними або безцементними.

Металеві ендопротези

Металеві ендопротези є найпоширенішими. Вони міцні і довговічні. Однак, вони можуть викликати більший ризик інфекції[24].

Полімерні ендопротези

Полімерні ендопротези мають меншу вагу і більш плавне рухання, ніж металеві ендопротези. Однак, вони менш міцні і можуть потребувати заміни через більш короткий час.

Керамічні ендопротези

Керамічні ендопротези мають найнижчий ризик інфекції. Однак, вони менш міцні, ніж металеві ендопротези.

Цементні ендопротези

Цементні ендопротези простіші в імплантації, ніж безцементні ендопротези. Однак, вони можуть викликати більший ризик розхитування ендопротезу.

Безцементні ендопротези

Безцементні ендопротези вимагають більш тривалої реабілітації, ніж цементні ендопротези. Однак, вони мають менший ризик розхитування ендопротезу.

Вибір типу ендопротезу

Вибір типу ендопротезу є індивідуальним і залежить від багатьох факторів, таких як:

- Вік пацієнта;
- Загальний стан здоров'я пацієнта;
- Характер ураження суглоба;
- Спосіб життя пацієнта;

Лікар допоможе пацієнту вибрати найбільш підходящий тип ендопротезу.

Характер ураження суглоба

При більш важких формах ураження суглоба імплантація ендопротезу може бути менш ефективною. Це пов'язано з тим, що у таких випадках може бути пошкоджена більша частина суглоба, що ускладнює імплантацію ендопротез[9].

1.2 Аналіз ефективності методів корекції

Хірургічні втручання

Хірургічні втручання є найбільш ефективним методом корекції захворювань суглобів. Вони можуть повністю відновити функцію суглоба і позбавити пацієнта від болю. Однак, хірургічні втручання є також і найризикованішими. Вони можуть призвести до таких ускладнень, як інфекція, кровотеча і розхитування імплантатів.

Фізіотерапія

Фізіотерапія є ефективним методом корекції захворювань суглобів. Вона допомагає відновити рухливість суглоба, зміцнити м'язи навколо суглоба і зменшити біль. Фізіотерапія може бути ефективною при багатьох захворюваннях суглобів, включаючи остеоартроз, ревматоїдний артрит і асептичний некроз кістки.

Корекційні ортези

Корекційні ортези можуть бути ефективним методом корекції захворювань суглобів. Вони допомагають підтримувати суглоб у правильному положенні і зменшують навантаження на нього. Корекційні ортези можуть бути ефективні при

таких захворюваннях суглобів, як остеоартроз, ревматоїдний артрит і нестабільності суглоба.

Фармакотерапія

Фармакотерапія є ефективним методом корекції захворювань суглобів. Вона допомагає зменшити біль, запалення і покращити рухливість суглоба. Фармакотерапія може бути ефективна при багатьох захворюваннях суглобів, включаючи остеоартроз, ревматоїдний артрит і асептичний некроз кістки.

Імплантація ендопротезу

Імплантація ендопротезу є найбільш радикальним методом корекції захворювань суглобів. Вона замінює пошкоджені частини суглоба штучними аналогами. Імплантація ендопротезу може бути ефективна при таких захворюваннях суглобів, як остеоартроз, ревматоїдний артрит і асептичний некроз кістки (Таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 Порівняння ефективності методів корекції

Характеристика	Хірургічні втручання	Фізіотерапія	Корекційні ортези	Фармакотерапія	Імплантація ендопротезу
Ефективність	Найбільш ефективний	Ефективний	Може бути ефективним	Ефективний	Найбільш ефективний при важких формах захворювань
Ризик ускладнень	Високий	Низький	Низький	Низький	Низький
Тривалість лікування	Коротка	Тривала	Тривала	Тривала	Коротка
Вартість	Висока	Середня	Середня	Низька	Висока
Застосовується при	Важкі форми захворювань	Легкі та середньотяжкі форми захворювань	Всі форми захворювань	Легкі та середньотяжкі форми захворювань	Важкі форми захворювань

Вибір методу корекції захворювань суглобів залежить від виду захворювання, стадії захворювання і загального стану здоров'я пацієнта.

Рекомендації

При легких і середньотяжких формах захворювань суглобів рекомендується застосовувати консервативні методи лікування, такі як медикаментозна терапія і фізіотерапія.

При важких формах захворювань суглобів, які не піддаються консервативному лікуванню, може знадобитися хірургічне лікування, наприклад, імплантація ендопротезу[2].

1.3 Перспективи розвитку та вдосконалення методів корекції

Сучасні методи корекції захворювань суглобів постійно розвиваються і вдосконалюються. Вчені працюють над розробкою нових, більш ефективних і безпечних методів лікування.

Одним з найбільш перспективних напрямків розвитку є розробка нових методів хірургічного лікування, зокрема ендопротезування.

Ендопротезування - це операція, при якій пошкоджені частини суглоба замінюються штучними аналогами. Ендопротези можуть бути ефективним методом лікування захворювань суглобів, які не піддаються консервативному лікуванню.

Перспективи розвитку ендопротезування

До перспективних напрямків розвитку ендопротезування відносяться:

- Розробка нових матеріалів для виготовлення ендопротезів;

Сучасні ендопротези виготовляються з металів, кераміки та пластиків. Ці матеріали мають свої переваги та недоліки. Наприклад, металеві ендопротези міцні, але вони можуть викликати інфекції. Керамічні ендопротези не викликають інфекцій, але вони можуть бути менш міцними. Пластикові ендопротези легкі та зручні, але вони можуть бути менш міцними, ніж металеві або керамічні

ендопротези.

Дослідники працюють над розробкою нових матеріалів для виготовлення ендопротезів, які будуть більш міцними, зносостійкими та біологічно сумісними.

- Розробка нових методів імплантації ендопротезів;

Сучасні ендопротези імплантуються в суглоб через розріз в шкірі. Це може призвести до кровотечі, інфекції та інших ускладнень.

Дослідники працюють над розробкою нових методів імплантації ендопротезів, які будуть менш травматичними і матимуть нижчий ризик ускладнень. Наприклад, розробляються методи імплантації ендопротезів через невеликі проколи в шкірі.

- Розробка нових методів контролю за станом ендопротезів;

Після імплантації ендопротезу важливо контролювати його стан, щоб виявити можливі ускладнення на ранніх стадіях.

Дослідники працюють над розробкою нових методів контролю за станом ендопротезів, наприклад, методами магнітної резонансної томографії або комп'ютерної томографії.

Вплив ендопротезування на якість життя пацієнтів

Ендопротезування може значно покращити якість життя пацієнтів з захворюваннями суглобів. Операція може позбавити пацієнта від болю, відновити рухливість суглоба і дозволити пацієнту повернутися до активного способу життя.

Однак, ендопротезування - це серйозна операція, яка має свої ризики. Пацієнтам, які планують ендопротезування, слід уважно обговорити з лікарем всі ризики та переваги операції.

Розробка нових методів ендопротезування може зробити цю операцію більш ефективною, безпечною та доступною для більшої кількості пацієнтів[28].

1.4 Обґрунтування вибору ендопротезу стегнової кістки як основи для магістерської роботи

Обґрунтування має декілька ключових аспектів, які підкреслюють

актуальність та значущість даної теми дослідження:

1.Необхідність покращення результатів лікування: Хвороби та травми стегнової кістки можуть значно обмежувати фізичну активність та якість життя пацієнтів. Вдосконалення методів ендопротезування може сприяти покращенню результатів лікування та сповільненню прогресування захворювань.

2.Обмежена кількість наукових досліджень в даній області: Кількість наукових досліджень та документованих методів є обмеженою в порівнянні з іншими видами ендопротезування. Це створює можливість для проведення нових досліджень та розробки покращених методів лікування.

3.Використання сучасних технологій та методів: Магістерська робота може базуватися на використанні сучасних технологій, таких як обробка зображень, моделювання та імплантація, для вдосконалення процесу ендопротезування та покращення результатів лікування пацієнтів.

4.Соціальна важливість теми: Ендопротезування стегнової кістки може значно покращити якість життя пацієнтів та дозволити їм повернутися до активного способу життя. Розробка ефективних методів лікування є важливою для соціального та медичного благополуччя суспільства.

5.Легкість отримання КТ зображень для сегментації: Стегнова кістка легко доступна для отримання КТ зображень. Це дозволяє дослідникам легко отримувати високоякісні та деталізовані зображення гомілкової кістки для подальшої аналізу. Це є ключовим аспектом для проведення досліджень та аналізу розподілу навантажень в цій області.

6.Підвищена кількість осколкових поранень і вражень стегнової кістки осколками: Осколкові поранення та ушкодження стегнової кістки стають все більш поширеними через війну в нашій країні. Вивчення оптимальних методів лікування та розподілу навантажень в таких ситуаціях може значно покращити результати лікування і попередити ускладнення.

Можливі напрямки дослідження:

- Розробка нових матеріалів для виготовлення ендопротезів. Сучасні ендопротези виготовляються з металів, кераміки та пластиків. Ці матеріали мають свої

переваги та недоліки. Дослідження нових матеріалів можуть привести до розробки ендопротезів, які будуть більш міцними, зносостійкими та біологічно сумісними;

- Розробка нових методів імплантації ендопротезів. Сучасні ендопротези імплантуються в суглоб через розріз в шкірі. Це може призвести до кровотечі, інфекції та інших ускладнень. Дослідження нових методів імплантації ендопротезів можуть привести до розробки методів, які будуть менш травматичними і матимуть нижчий ризик ускладнень;
- Розробка нових методів контролю за станом ендопротезів. Після імплантації ендопротезу важливо контролювати його стан, щоб виявити можливі ускладнення на ранніх стадіях. Дослідження нових методів контролю за станом ендопротезів можуть привести до розробки методів, які будуть більш ефективними і точними;
- Розробка нових методів до-операційної підготовки. До операції, необхідно завчасно перевірити і змодельовати навантаження які має витримати та чи інша модель ендопротезу. Дослідження нових методів, дозволять розробити підхід який зменшить ризики і шанси ревізії;

1.5 Постановка задачі

Потенційні недоліки ендопротезування включають поступовий знос компонентів штучного суглоба, що, разом з іншими можливими ускладненнями, може призвести до необхідності їх заміни. Головною метою даної дисертації є вирішення проблем, пов'язаних із зношенням ендопротезів.

Економічні витрати на ревізійне ендопротезування значно вищі: середня вартість імплантатів збільшується на 18-24%, а час виконання ревізійного втручання збільшується на 41%, порівняно із первинним ендопротезуванням. Загальна вартість лікування пацієнта для клінік і страхових медичних компаній при нестабільності імплантата зростає на 24-100%. Це призводить до постійного зростання матеріальних витрат, особливо з урахуванням зростання кількості первинних втручань. Ревізійні втручання при первинному ендопротезуванні стандартними протезами складають 8-10% від загальної кількості артропластики

колінного суглоба[3].

З урахуванням статистики ревізієвих втручань, пов'язаних із проблемами зносу ендопротезів, виокремлюється необхідність додаткових аналітичних досліджень та випробовувань протезів на етапі розробки. Оскільки апробація на добровольцях може займати значний час, приблизно 20 років і більше, і таке тестування не є досить етичним, корпорації використовують комп'ютерні методи аналізу. Враховуючи це, виникає потреба в стандартизації та спрощенні таких методів аналізу для прискорення розвитку наукової індустрії та вдосконалення методів протезування. Таким чином, буде створена система аналізу розподілу навантажень у ендопротезах з можливістю швидкого доступу до отриманих даних лікарем.

Висновки до розділу 1

Розділ 1 висвітлив ключові аспекти захворюваності опорно-рухового апарату та провів класифікацію різноманітних захворювань, здійснюючи перехід від специфічного акценту на колінний суглоб до загального підходу до всіх ендопротезів.

Аналіз проблем захворюваності та визначення причин, що викликають необхідність операцій протезування, створює теоретичну базу для подальших розділів дисертації. Огляд анатомічної структури опорно-рухового апарату розкриває загальні принципи, які застосовуються при розгляді будь-якого ендопротезування.

Детальний аналіз різних методів корекції, включаючи хірургічні втручання, фізіотерапію, корекційні ортези та імплантацію ендопротезів, формує повний образ різноманітних можливостей для вдосконалення опорно-рухового апарату. Визначення основних типів ендопротезів та їх базові принципи остеотомічних операцій визначають напрямки для подальшого вивчення та розвитку у галузі.

Розроблена постановка задачі для дисертаційної роботи визначає конкретні завдання та напрями досліджень, спрямовані на вирішення проблем опорно-

рухового апарату. Цей розділ є основоположним етапом у формуванні теоретичної та методологічної бази для подальшого наукового дослідження та розробки ефективних методів корекції опорно-рухового апарату.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЧНА ТА МАТЕРІАЛЬНА БАЗА ДЛЯ МОДЕЛІ ЕНДОПРОТЕЗУ СТЕГНОВОЇ КІСТКИ

2.1 Основи моделювання

Моделювання - це процес створення математичного або фізичного аналога реального об'єкта або процесу. Моделі використовуються для дослідження властивостей об'єктів або процесів, які важко або неможливо вивчити експериментально.

У випадку моделювання ендопротезу стегнової кістки, мета полягає в створенні моделі, яка точно відображає реальний суглоб. Ця модель може використовуватися для дослідження таких питань, як:

- Знос ендопротезу;
- Розподіл навантажень у протезованому суглобі;
- Ефективність роботи ендопротезу;

Типи моделей:

Моделі можна класифікувати за різними критеріями. Залежно від того, наскільки точно модель відображає реальний об'єкт або процес, моделі можна розділити на:

- Аналогічні моделі - це моделі, які мають аналогічні властивості з реальним об'єктом або процесом;
- Асимптотичні моделі - це моделі, які збігаються з реальним об'єктом або процесом в деякому межевому випадку;
- Квантитаційні моделі - це моделі, які використовують дискретні величини для опису реального об'єкта або процесу;

Залежно від того, наскільки складним є реальний об'єкт або процес, моделі можна розділити на:

- Прості моделі - це моделі, які описують основні властивості реального об'єкта або процесу.
- Складні моделі - це моделі, які описують більш детальні властивості

реального об'єкта або процесу.

Методи моделювання

Існує багато різних методів моделювання. Деякі з найпоширеніших методів включають:

- Математичне моделювання - це метод, який використовує математичні рівняння для опису реального об'єкта або процесу;
- Фізичне моделювання - це метод, який створює фізичну модель реального об'єкта або процесу;
- Комп'ютерне моделювання - це метод, який використовує комп'ютер для створення моделі реального об'єкта або процесу; [16]

Методологія моделювання ендопротезу стегнової кістки

Методологія моделювання ендопротезу стегнової кістки включає в себе наступні етапи:

1. Опис проблеми

На першому етапі необхідно описати проблему, яку необхідно вирішити за допомогою моделювання. У випадку моделювання ендопротезу стегнової кістки, необхідно визначити, які властивості ендопротезу необхідно вивчити.

2. Вибір методу моделювання

На другому етапі необхідно вибрати метод моделювання, який буде найбільш підходящим для вирішення поставленої проблеми. У випадку моделювання ендопротезу стегнової кістки, найбільш підходящим методом є комп'ютерне моделювання.

Збір даних

На третьому етапі необхідно зібрати дані, необхідні для створення моделі.

Ці дані включають:

- Геометричні розміри;
- Механічні властивості матеріалів;
- Навантаження;

Дані можна отримати з таких джерел, як:

- Анатомічні атласи;
- Клінічні дослідження;
- Експериментальні дослідження;
- Створення моделі;

На четвертому етапі створюється модель. Модель може бути створена вручну або за допомогою програмного забезпечення для тривимірного моделювання.

Розрахунок моделі

На п'ятому етапі проводиться розрахунок моделі. Цей процес включає в себе вирішення диференціальних рівнянь, які описують поведінку суглоба.

Аналіз результатів

На шостому етапі аналізуються результати розрахунку. Ці результати можуть бути використані для вирішення поставленої проблеми[18].

2.2 Вибір програмного забезпечення

Для створення моделі ендопротезу стегнової кістки можна використовувати різні програмні пакети. Вибір програмного забезпечення залежить від таких факторів, як:

- Досяжність і вартість;
- Доступні функції;
- Досвідченість користувача;

Серед поширених програмних пакетів для моделювання ендопротезів можна виділити наступні:

- ANSYS;
- COMSOL Multiphysics;
- Abaqus;
- SolidWorks;
- SimSolid;
- OnScale;

- 3D Slicer;

3D Slicer - це безкоштовне програмне забезпечення з відкритим кодом, яке використовується для обробки медичних зображень. 3D Slicer можна використовувати для створення тривимірних моделей ендопротезів на основі даних, отриманих з медичних зображень[14].

Плюси:

- Безкоштовно;
- Відкритий код;
- Просте в освоєнні;
- Підтримка широкого спектру медичних зображень;

Мінуси:

- Не призначений для інженерних розрахунків;
- Не має такої ж функціональності, як інші програмні пакети для моделювання;

SolidWorks

SolidWorks - це комерційне програмне забезпечення для тривимірного моделювання. SolidWorks можна використовувати для створення тривимірних моделей ендопротезів вручну або на основі даних, отриманих з інших джерел[28].

Плюси:

- Широкий спектр функцій для тривимірного моделювання;
- Просте в освоєнні;
- Підтримка широкого спектру форматів файлів;

Мінуси:

- Ціна;

SimSolid

SimSolid - це комерційне програмне забезпечення для інженерних розрахунків, яке використовує метод дискретного елементів. SimSolid можна використовувати для проведення інженерних розрахунків ендопротезів.

Плюси:

- Висока точність;
- Підтримка широкого спектру матеріалів;
- Простота використання;

Мінуси:

- Не призначений для тривимірного моделювання;
- Не підтримує роботу з медичними зображеннями;

Для моделювання ендопротезу стегнової кістки можна використовувати різні програмні пакети. Вибір програмного забезпечення залежить від конкретних потреб дослідження.

Для створення тривимірної моделі ендопротезу на основі медичних зображень можна використовувати 3D Slicer.(Рис 2.1)

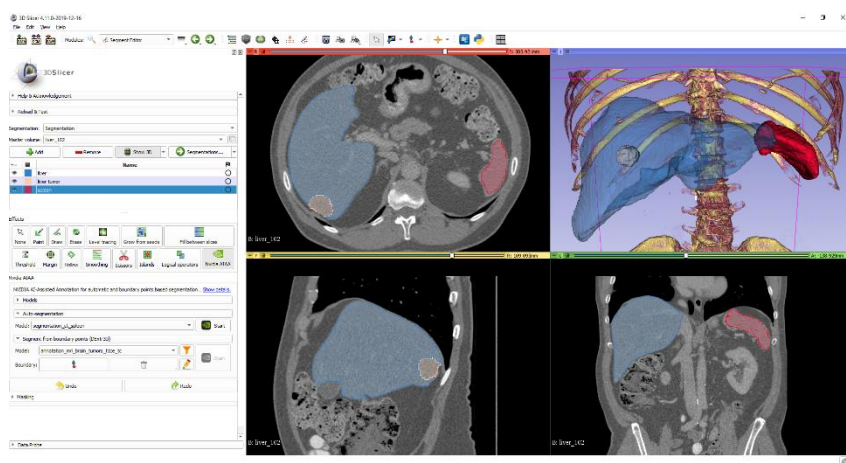


Рис. 2.1 – Приклад тяжкої сегментації в програмному середовищі 3D Slicer.

Для створення тривимірної моделі ендопротезу вручну або на основі даних, отриманих з інших джерел, можна використовувати SolidWorks. (Рис 2.2)

Для проведення інженерних розрахунків ендопротезу можна використовувати SimSolid (Рис 2.3) або OnScale.(Рис 2.4)

У даній магістерській роботі буде використовуватися програмне забезпечення SolidWorks для створення тривимірної моделі ендопротезу стегнової кістки, а також SimSolid для проведення первичних інженерних розрахунків, для порівняння з OnScale, як остаточним програмним забезпеченням для поставленої задачі. Цей вибір зроблений з наступних причин:

SolidWorks є широко поширеним і популярним програмним забезпеченням для тривимірного моделювання, яке має широкий спектр функцій і підтримує роботу з медичними зображеннями.

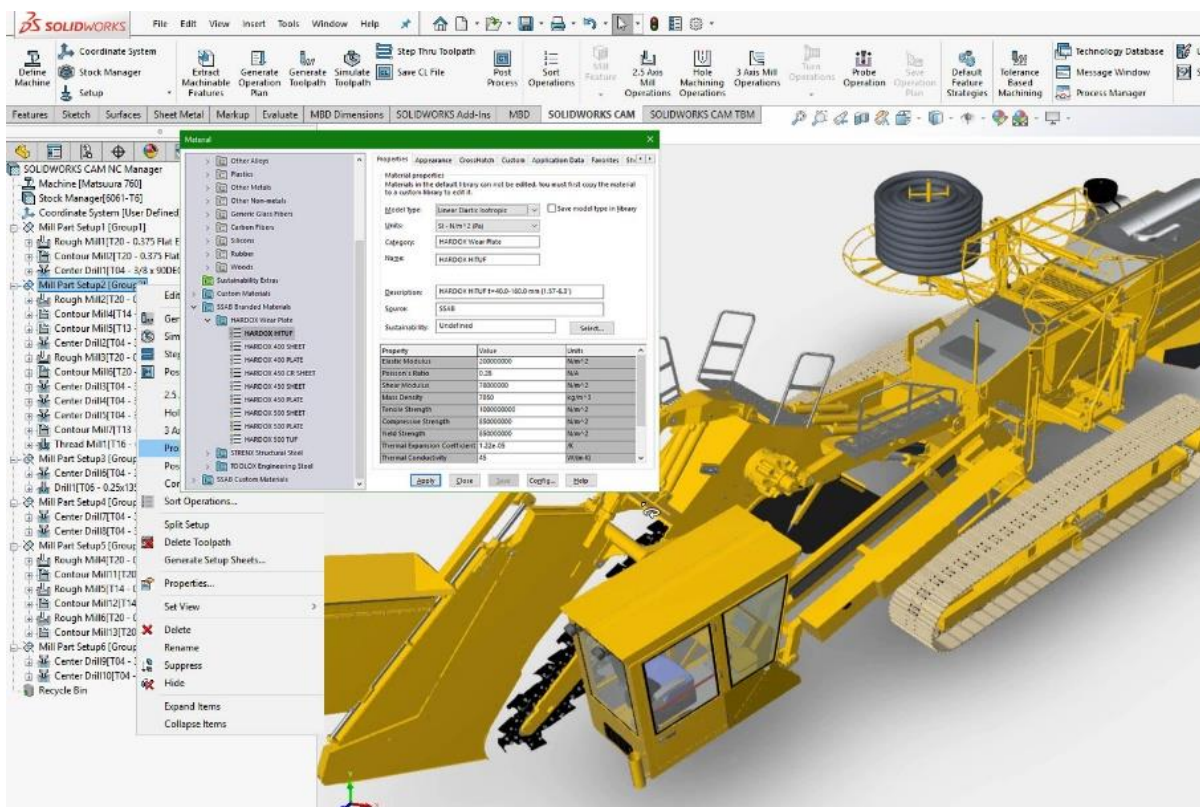


Рис. 2.2 – Приклад масштабної 3D-моделі в програмному середовищі SolidWorks.

Веб-версія аналітичної програми на основі «OnScale Solve» має численні переваги, які зробили її популярною серед інженерів та науковців для аналізу моделей імплантів. Деякі з цих переваг включають:

1. Легкий доступ та робота з будь-якого пристрою: Веб-версія дозволяє користувачам отримати доступ до програми з будь-якого пристрою, на якому є доступ до Інтернету. Це робить її дуже зручною для роботи вдалині або на різних пристроях

2. Не потребує встановлення і поновлення: Ви не повинні встановлювати програму на свій комп'ютер і втрачати час на поновлення. Всі оновлення виконуються централізовано на сервері.

3. Широкий функціонал: OnScale Solve веб-версія надає багато інструментів та функцій для аналізу, включаючи обчислення на основі скінчених елементів,

моделювання пружності, динаміки та багато іншого.

4.Потужність і масштабованість: Веб-версія дозволяє використовувати велику кількість обчислювальних ресурсів на серверах, що дозволяє обробляти великі та складні моделі швидше та ефективніше.

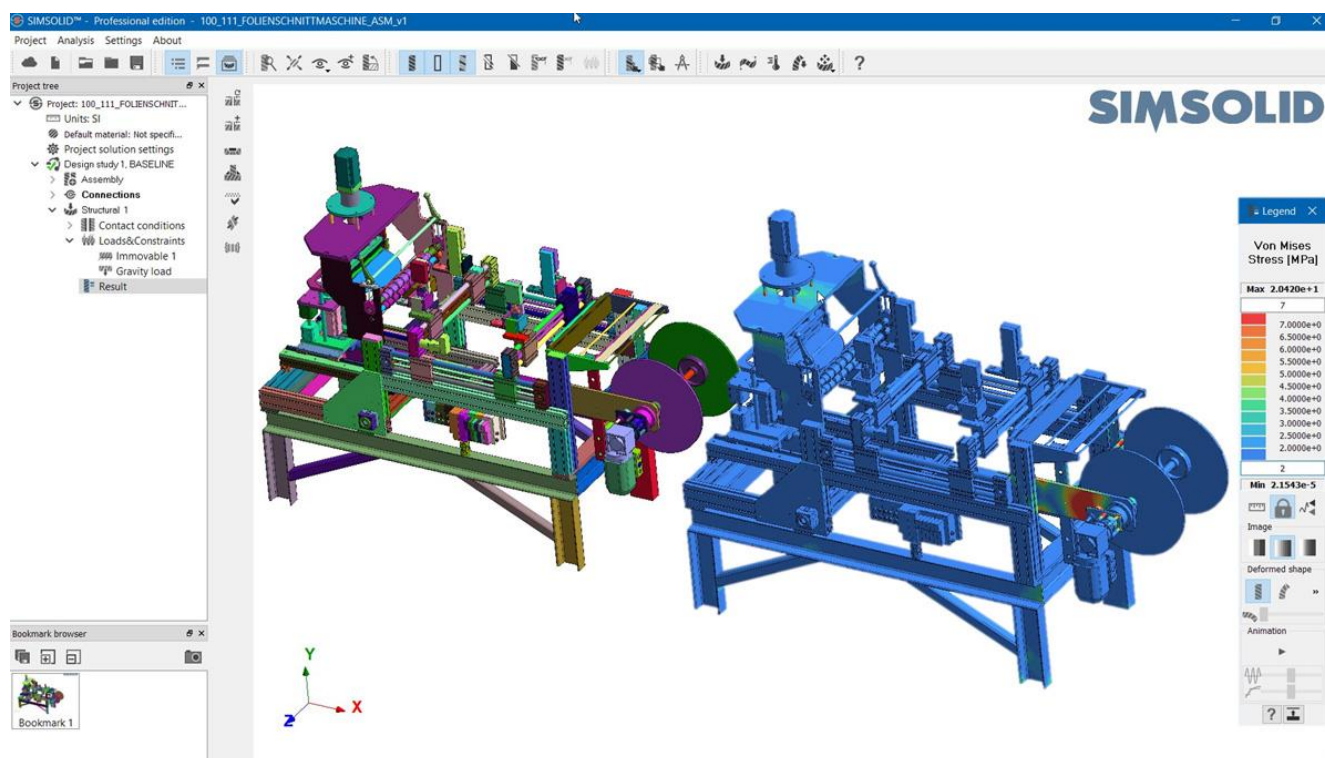


Рис. 2.3 – Приклад аналізу в програмному середовищі SimSolid.

5.Спільна робота та обмін даними: Ви можете легко обмінюватися моделями та результатами аналізу з колегами та співробітниками, використовуючи спеціальні інструменти для спільної роботи.

6.Оптимізація та дизайн-простір: Веб-версія може включати інструменти для оптимізації та дослідження дизайн-простору для покращення характеристик імплантів.

7.Моделювання в реальному часі: Здатність до миттєвого аналізу та перегляду результатів дозволяє швидко вносити зміни в модель для покращення результатів.

8.Зменшення витрат: Замість витрат на придбання та підтримку ліцензій для локальних програм, веб-версія може бути більш економічною альтернативою.

9.Схожа точність: Данний веб застосунок надає приблизно однакові данні, що і повноцінні комп'ютерні версії програм для аналізу(різницю в отриманих

даних можна вважати статистичною похибкою).

10. Аналіз моделі імпланту за допомогою веб-версії OnScale Solve дозволяє інженерам і науковцям швидше та ефективніше вирішувати завдання з проектування та оптимізації імплантів, що є важливим в медичній індустрії та багатьох інших галузях.

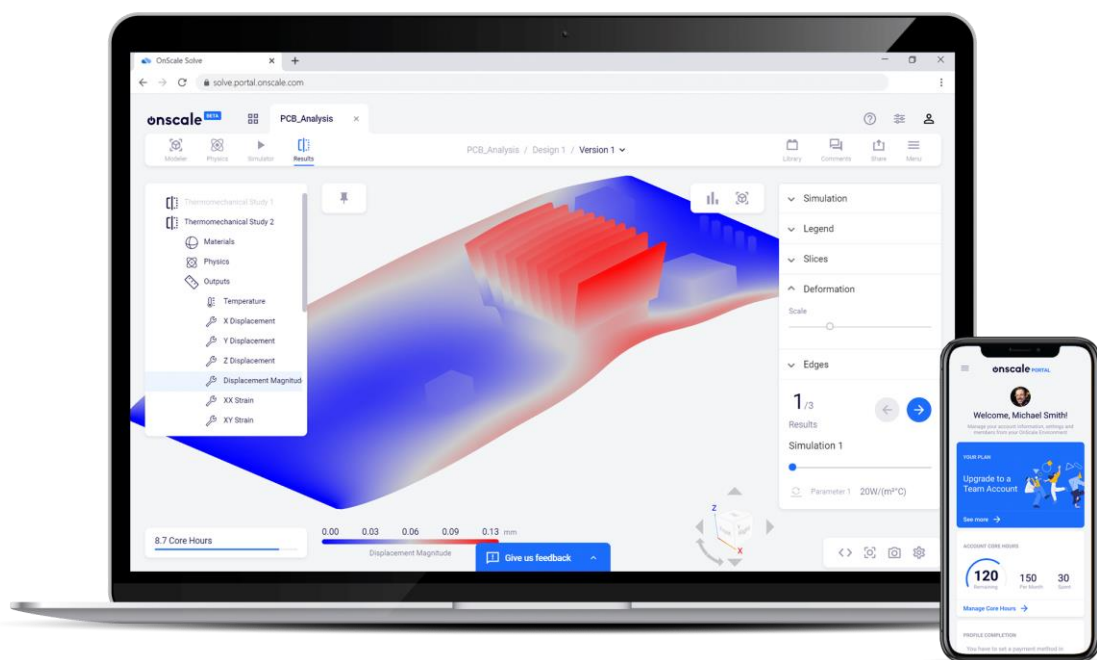


Рис. 2.4 – Приклад мобільності програмного середовища OnScale Solve.

2.3 Алгоритм процедури

Процес створення моделі ендопротезу стегнової кістки можна розділити на наступні етапи:

1. Опис проблеми

На першому етапі необхідно описати проблему, яку необхідно вирішити за допомогою моделювання. У випадку моделювання ендопротезу стегнової кістки, необхідно визначити, які властивості ендопротезу стегнової кістки необхідно вивчити[17].

Наприклад, якщо необхідно вивчити знос ендопротезу стегнової кістки, то

необхідно визначити, які фактори впливають на знос, такі як:

- Матеріали, з яких виготовлений ендопротез стегнової кістки;
- Навантаження, які діють на ендопротез стегнової кістки;
- Рухи, які здійснює ендопротез стегнової кістки;

2. Вибір методу моделювання

На другому етапі необхідно вибрати метод моделювання, який буде найбільш підходящим для вирішення поставленої проблеми. У випадку моделювання ендопротезу стегнової кістки, найбільш підходящим методом є комп'ютерне моделювання.

Комп'ютерне моделювання дозволяє вивчати поведінку ендопротезу стегнової кістки в різних умовах, що неможливо зробити експериментально.

3. Збір даних

На третьому етапі необхідно зібрати дані, необхідні для створення моделі.

Ці дані включають:

- Дані комп'ютерної томографії(Рис.2.5);
- Геометричні розміри стегнової кістки;
- Механічні властивості матеріалів, з яких виготовлений ендопротез стегнової кістки;
- Навантаження, які діють на ендопротез стегнової кістки;

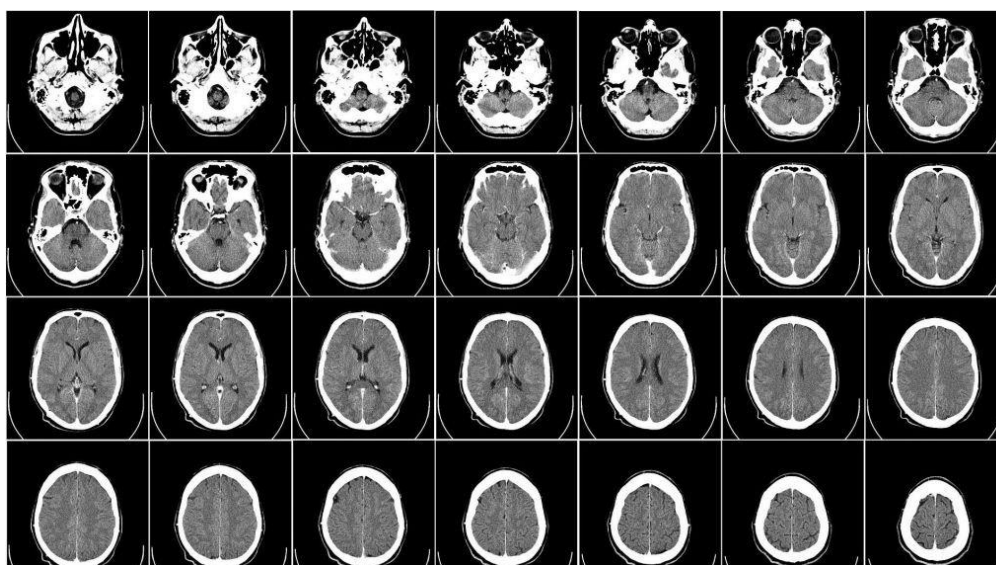


Рис. 2.5 – Комп'ютерна томографія голови.

Дані можна отримати з таких джерел, як:

- Анатомічні атласи;
- Клінічні дослідження;
- Експериментальні дослідження;

4. Створення геометричної моделі

На четвертому етапі створюється модель стегнової кістки. Модель може бути створена вручну або за допомогою програмного забезпечення для тривимірного моделювання.

Якщо модель створюється вручну, то необхідно використовувати дані, отримані на етапі збору даних.

Якщо модель створюється за допомогою програмного забезпечення для тривимірного моделювання, то необхідно вибрати програмне забезпечення, яке підтримує роботу з такими типами даних, як медичні зображення.

5. Встановлення фізичних властивостей матеріалів

На п'ятому етапі встановлюються фізичні властивості матеріалів, з яких виготовлений ендопротез стегнової кістки. Ці властивості включають:

- Модуль пружності;
- Модуль зсуву;
- Модуль Юнга;
- Коефіцієнт тертя;

Дані про фізичні властивості матеріалів можна отримати з таких джерел, як:
Технічні характеристики матеріалів

- Довідники;
- Експериментальні дослідження;

6. Встановлення навантажень

На шостому етапі встановлюються навантаження, які діють на ендопротез стегнової кістки. Ці навантаження включають:

- Вага тіла;
- Прикладання сили;

- Розподіл тиску;

Дані про навантаження можна отримати з таких джерел, як:

- Анатомічні атласи;
- Клінічні дослідження;
- Експериментальні дослідження;

7. Розрахунок моделі

На цьому етапі проводиться розрахунок моделі. Цей процес включає в себе вирішення диференціальних рівнянь, які описують поведінку стегнової кістки.

Розрахунок моделі можна проводити за допомогою програмного забезпечення для інженерних розрахунків.

8. Аналіз результатів

На восьмому етапі аналізуються результати розрахунку. Ці результати можуть бути використані для вирішення поставленої проблеми.

Наприклад, якщо необхідно вивчити знос ендопротезу стегнової кістки, то результати розрахунку можна використовувати для оцінки величини зносу в різних умовах.

На кожному етапі процесу створення моделі ендопротезу стегнової кістки необхідно дотримуватися таких принципів:

1.Точність.

Модель повинна бути якомога точнішою, щоб отримані результати були достовірними. Для цього необхідно використовувати точні дані, отримані з надійних джерел. Також важливо використовувати програмне забезпечення, яке дозволяє створювати точні моделі.

2.Доступність.

Модель повинна бути доступною для розуміння та використання. Для цього необхідно використовувати зрозумілу термінологію та чіткий опис моделі. Також важливо забезпечити доступ до моделі для користувачів з різним рівнем підготовки.

3.Ефективність.

Модель повинна бути ефективною, щоб процес її створення був швидким і не вимагав значних витрат. Для цього необхідно використовувати сучасні програмні пакети та дотримуватися стандартних алгоритмів процедури.

Загальні рекомендації:

1. Для створення точної та інформативної моделі ендопротезу стегнової кістки необхідно дотримуватися таких рекомендацій:
2. Використовуйте точні дані, отримані з надійних джерел;
3. Використовуйте програмне забезпечення, яке дозволяє створювати точні моделі.
4. Використовуйте зрозумілу термінологію та чіткий опис моделі.
5. Забезпечте доступ до моделі для користувачів з різним рівнем підготовки.
6. Використовуйте сучасні програмні пакети та дотримуйтеся стандартних алгоритмів процедури.

Висновки до розділу 2

У розділі 2 були розглянуті основи моделювання ендопротезу стегнової кістки. Було визначено, що моделювання є важливим інструментом для дослідження поведінки ендопротезу в різних умовах. Для створення точної та інформативної моделі необхідно дотримуватися стандартних етапів методології моделювання і використовувати сучасні програмні пакети.

Особливу увагу слід приділяти таким моментам:

Вибір методу моделювання, який буде найбільш підходящим для вирішення поставленої проблеми.

Збір даних, необхідних для створення моделі. Дані повинні бути точними і отримані з надійних джерел.

Створення геометричної моделі, яка точно відображає реальний суглоб.

Встановлення фізичних властивостей матеріалів, з яких виготовлений ендопротез.

Встановлення навантажень, які діють на ендопротез.

Розрахунок моделі за допомогою програмного забезпечення для інженерних розрахунків.

Аналіз результатів розрахунку.

Дотримання цих рекомендацій дозволить створити точну та інформативну модель ендопротезу стегнової кістки, яка може бути використана для вирішення різних завдань, таких як:

Дослідження зносу ендопротезу

Розподіл навантажень у протезованому суглобі

Ефективність роботи ендопротезу

Використання таких моделей дозволить підвищити якість ендопротезування і забезпечити пацієнтам більш комфортне та тривале життя.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕДОПРОТЕЗУ КІСТКИ

3.1 Сегментація 3-D моделі кістки в середовищі 3D Slicer

Сегментація 3D моделі кістки в середовищі 3D Slicer - це процес поділу 3D моделі на окремі частини, що представляють різні тканини або структури. Цей процес часто використовується для підготовки даних для подальшого аналізу, такого як інженерні розрахунки або медичні дослідження.

В середовищі 3D Slicer сегментація кістки може бути виконана за допомогою різних методів, таких як:

1. Ручна сегментація. Цей метод полягає в тому, що користувач вручну виділяє області кістки на 3D моделі.

2. Автоматична сегментація. Цей метод використовує алгоритми для автоматичного виділення областей кістки на 3D моделі.

3. Ручна сегментація є більш точним методом, але вона також є більш трудомісткою і вимагає досвіду користувача. Автоматична сегментація є менш точним методом, але вона є більш швидким і простим у використанні.

4. Для сегментації 3D моделі кістки в середовищі 3D Slicer можна використовувати такі інструменти:

5. Інструмент кисті. Цей інструмент дозволяє користувачеві малювати області кістки вручну.

6. Інструмент маркера. Цей інструмент дозволяє користувачеві розміщувати маркери на 3D моделі, які використовуються для визначення областей кістки.

7. Інструмент рівня. Цей інструмент дозволяє користувачеві визначати рівні, які використовуються для автоматичного виділення областей кістки.

8. Після того, як сегментація 3D моделі кістки завершена, можна використовувати різні методи для перевірки якості сегментації. До цих методів належать:

9. Візуальна перевірка. Цей метод полягає в тому, що користувач візуально перевіряє сегментовану модель, щоб переконатися, що вона відповідає

очікуванням.

10.Метод індексу подібності. Цей метод використовує алгоритми для оцінки подібності між сегментованою моделлю та оригінальною моделлю.

11.Метод морфологічної статистики. Цей метод використовує алгоритми для оцінки морфологічних характеристик сегментованої моделі показано на Рис 3.1

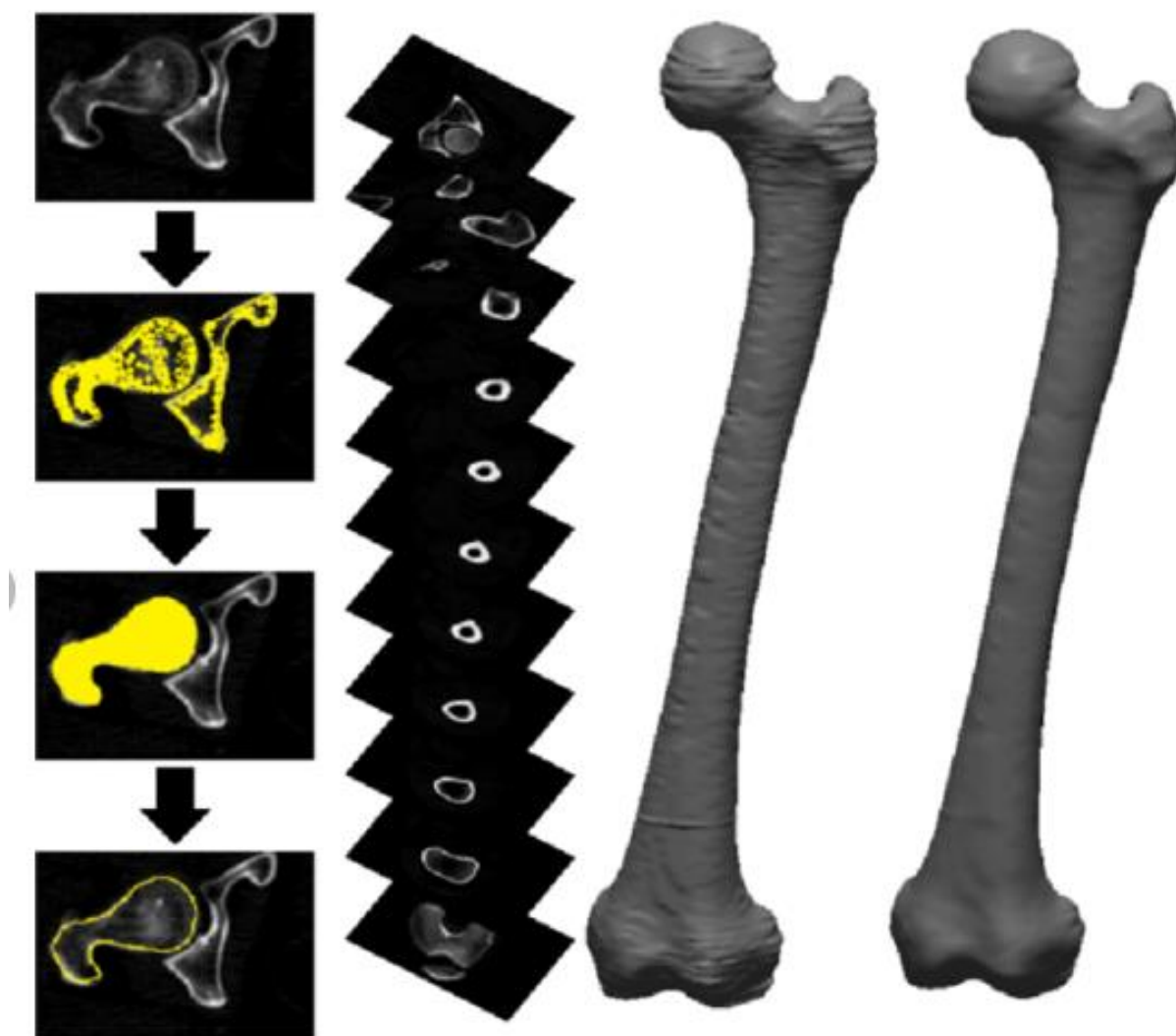


Рис. 3.1 – Принцип сегментування кістки

3.2 Моделювання ендопротезу в програмному середовищі Solidworks

Створення моделі ендопротезу стегнової кістки на основі 3D-моделі кістки у програмному середовищі SolidWorks вимагає декілька кроків. В наведеному описі розглянемо цей процес поетапно:

1. Підготовка 3D-моделі стегнової кістки:

Відкрийте програму SolidWorks.

Імпортуйте 3D-модель стегнової кістки. Ви можете імпортувати модель у форматах, які підтримуються SolidWorks, таких як STL, IGES або STEP[15].

2. Створення ескізу для ендопротезу:

Виберіть поверхню стегнової кістки, на якій планується розмістити ендопротез.

Створіть ескіз, що відображає контур ендопротезу. Використовуйте інструменти для малювання або проектування для створення форми, яка відповідає ендопротезу.

3. Екструзія ескізу:

Виберіть ескіз та використайте операцію "Екструзія" для перетворення ескізу в 3D-об'єкт. Виберіть товщину та напрямок екструзії.

4. Моделювання деталей ендопротезу:

Відредагуйте 3D-об'єкт ендопротезу, щоб надати йому більше деталей та реалістичніший вигляд;

Додайте геометричні форми, отвори, різьблення та інші деталі, які характерні для ендопротезу;

5. Моделювання з'єднання з кісткою:

Створіть спеціальний з'єднувальний вузол або інтерфейс, який дозволяє ендопротезу надійно закріпитися на стегновій кістці;

6. Оптимізація та аналіз:

Перевірте модель на наявність ребер, які можуть створювати непотрібний напружений стан.

Виконайте аналіз міцності, напруженості або інших необхідних обчислень для перевірки працездатності ендопротезу.

Додавання матеріалу та текстур:

- Визначте матеріал для ендопротезу та надайте йому властивості;
- Додайте текстури та кольори для реалістичного відображення;

Збереження та експорт:

Збережіть готову модель у форматі SolidWorks або інших підтримуваних форматах для подальшого використання[16]



Рис.3.2 – Готовий імплант(вигляд зверху і збоку)

Цей поетапний процес дає змогу створити детальну 3D-модель ендопротезу стегнової кістки на основі вихідної моделі кістки[18]. Важливо також враховувати особливості конкретного ендопротезу, його розмір, форму та призначення, а також вимоги до міцності та зносостійкості при проектуванні та моделюванні. (Рис.3.2)

3.3 Аналіз моделі у програмному середовищі SimSolid та OnScale

Підготовка 3D моделей: Маємо готові 3D моделі кістки та імпланту, які ви створили в Solidworks чи іншому CAD програмному забезпеченні. Ці моделі повинні включати геометричні та матеріальні характеристики.

Імпорт в SimSolid: Відкриваємо програму SimSolid та імпортуємо 3D моделі

кістки та імпланту. Зазвичай це можна зробити, вибравши опцію імпорту моделей у відповідних форматах.

Визначення матеріальних властивостей: Визначаємо матеріальні властивості для кістки та імпланту. Це включає модуль Юнга, межу міцності, коефіцієнт Пуассона та інші важливі параметри матеріалів[28].

Визначення умов навантаження: Визначаємо типи навантажень, які призначені для моделювання, такі як статичне навантаження, динамічне навантаження, термічне навантаження а також точки навантаження і рівну поверхню на якій стоїть модель[17,18].

Моделювання та аналіз: Запускаємо аналіз в SimSolid, яка розраховує навантаження та реакції від кістки та імпланту. Програма проводить обчислення для визначення напружень, деформацій, деформацій та інших фізичних параметрів. (Рис.3.3)

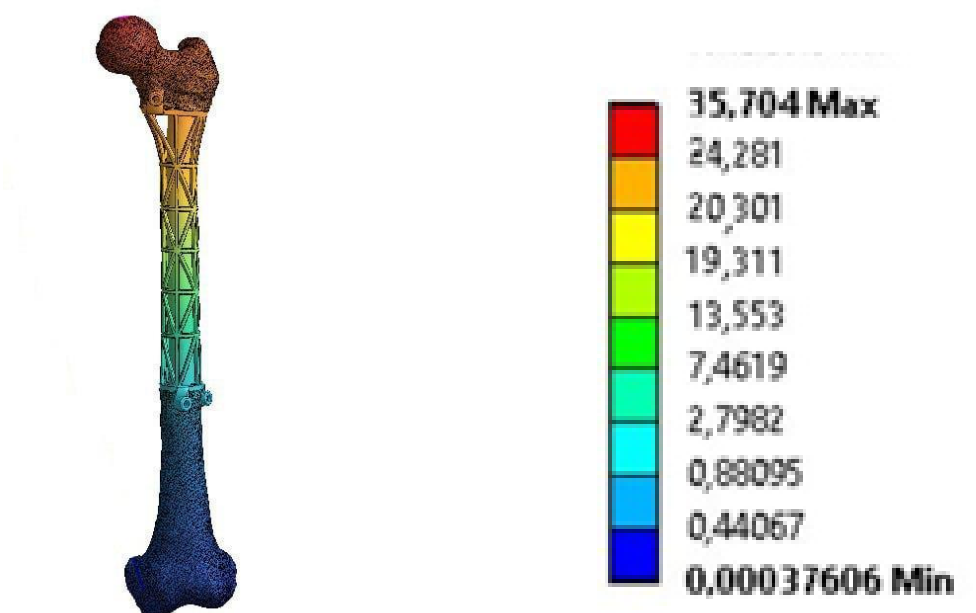


Рис. 3.3 – Візуальна схема напруги в 90кг та таблиця отриманих даних в МПа

3.4 Перевірка моделі в програмному забезпеченні OnScale та переваги даного програмного забезпечення

Веб-версія аналітичної програми на основі «OnScale Solve» має численні переваги, які зробили її популярною серед інженерів та науковців для аналізу

моделей імплантів. Деякі з цих переваг включають:

1.Легкий доступ та робота з будь-якого пристрою: Веб-версія дозволяє користувачам отримати доступ до програми з будь-якого пристрою, на якому є доступ до Інтернету. Це робить її дуже зручною для роботи вдалині або на різних пристроях. (Рис.3.4)

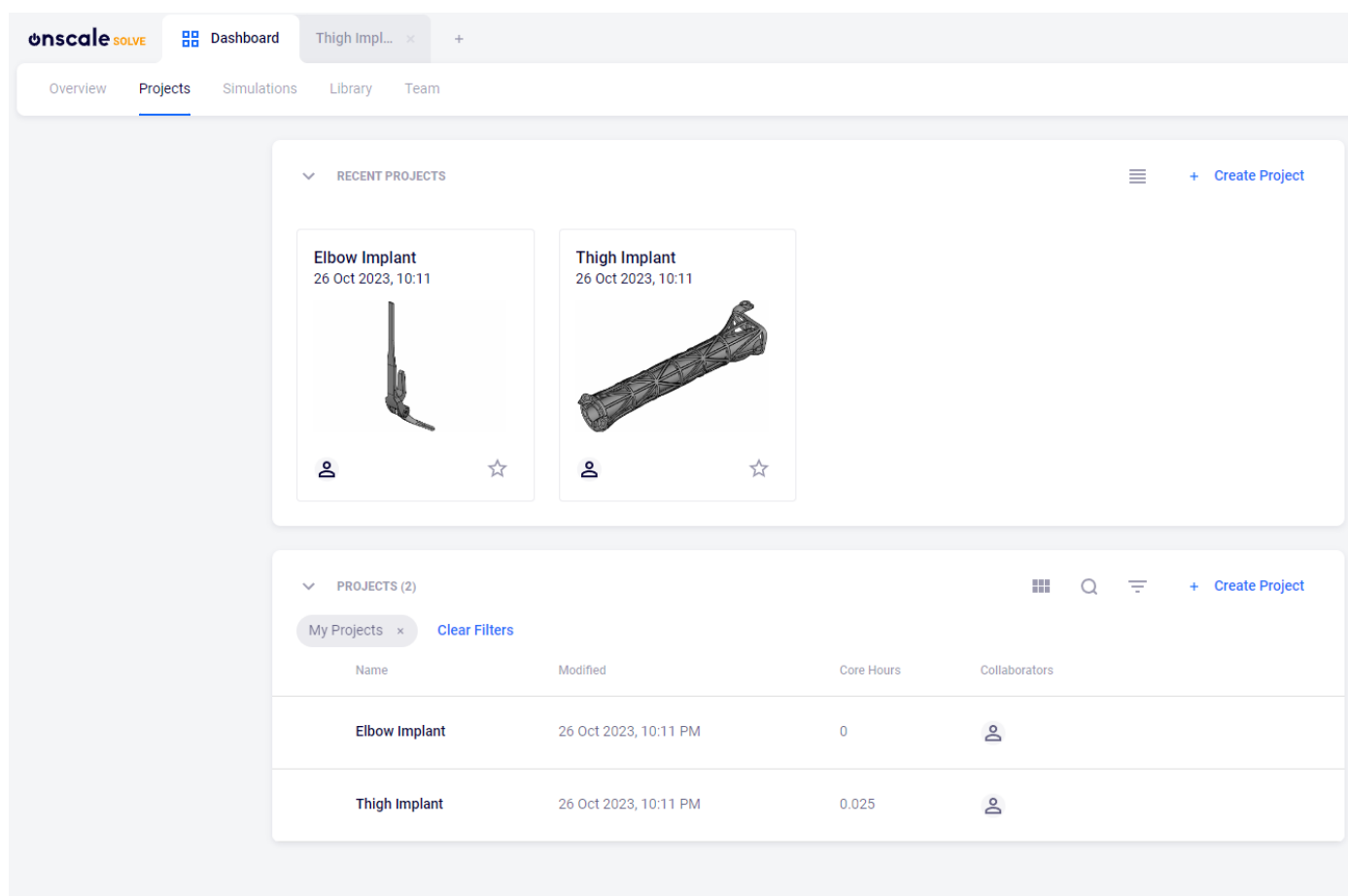


Рис. 3.4 – Декілька проектів в одному аккаунті, до яких можуть мати доступ різні люди з різних пристроїв

2.Не потребує встановлення і поновлення: Ви не повинні встановлювати програму на свій комп'ютер і втрачати час на поновлення. Всі оновлення виконуються централізовано на сервері.

3.Широкий функціонал: OnScale Solve веб-версія надає багато інструментів та функцій для аналізу, включаючи обчислення на основі скінчених елементів, моделювання пружності, динаміки та багато іншого. (Рис.3.5)

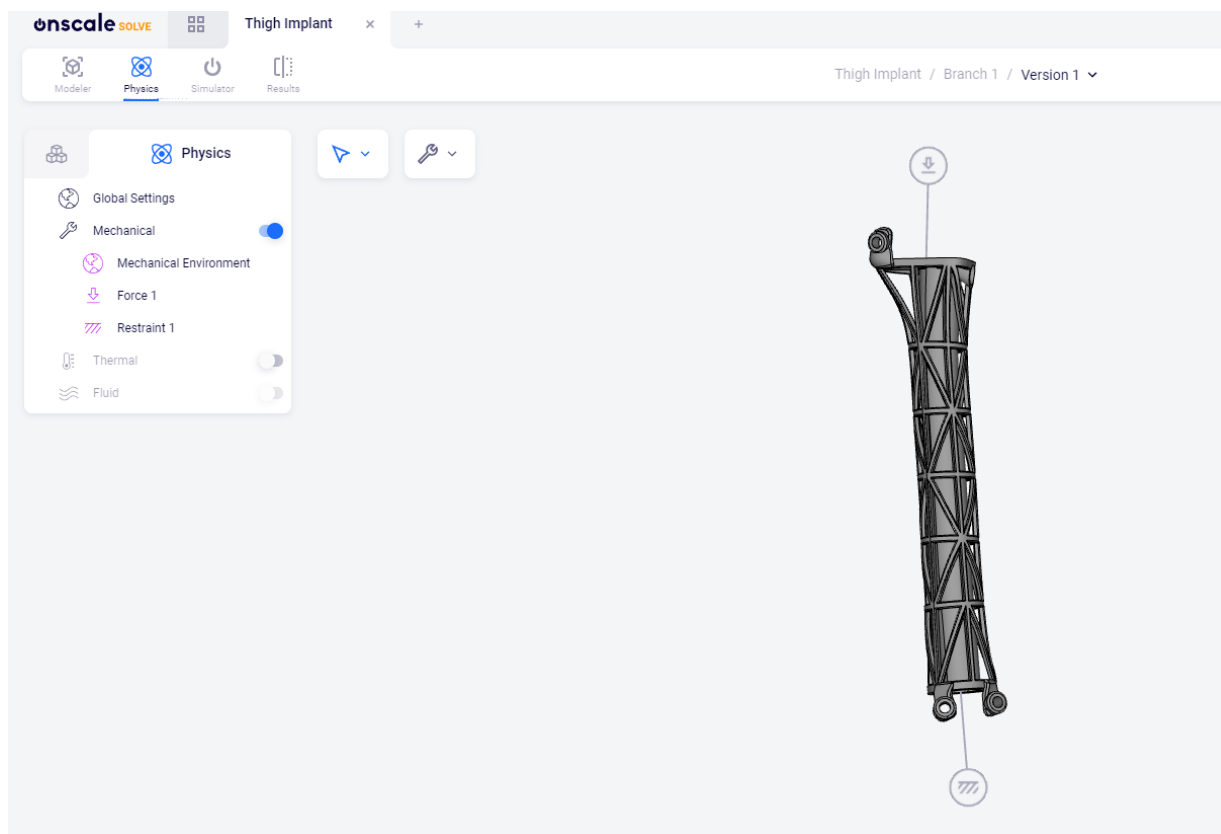


Рис. 3.5 – Різні типи сил, які можна використати для аналізу моделі

4.Потужність і масштабованість: Веб-версія дозволяє використовувати велику кількість обчислювальних ресурсів на серверах, що дозволяє обробляти великі та складні моделі швидше та ефективніше.

5.Спільна робота та обмін даними: Ви можете легко обмінюватися моделями та результатами аналізу з колегами та співробітниками, використовуючи спеціальні інструменти для спільної роботи.

6.Оптимізація та дизайн-простір: Веб-версія може включати інструменти для оптимізації та дослідження дизайн-простору для покращення характеристик імплантів.

7.Моделювання в реальному часі: Здатність до миттєвого аналізу та перегляду результатів дозволяє швидко вносити зміни в модель для покращення результатів.

8.Зменшення витрат: Замість витрат на придбання та підтримку ліцензій для локальних програм, веб-версія може бути більш економічною альтернативою.

9.Схожа точність: Даний веб застосунок надає приблизно однакові данні, що і повноцінні комп'ютерні версії програм для аналізу(різницю в отриманих данних можна вважати статистичною похибкою).

10.Аналіз моделі імпланту за допомогою веб-версії OnScale Solve дозволяє інженерам і науковцям швидше та ефективніше вирішувати завдання з проектування та оптимізації імплантів, що є важливим в медичній індустрії та багатьох інших галузях. (Рис.3.6)

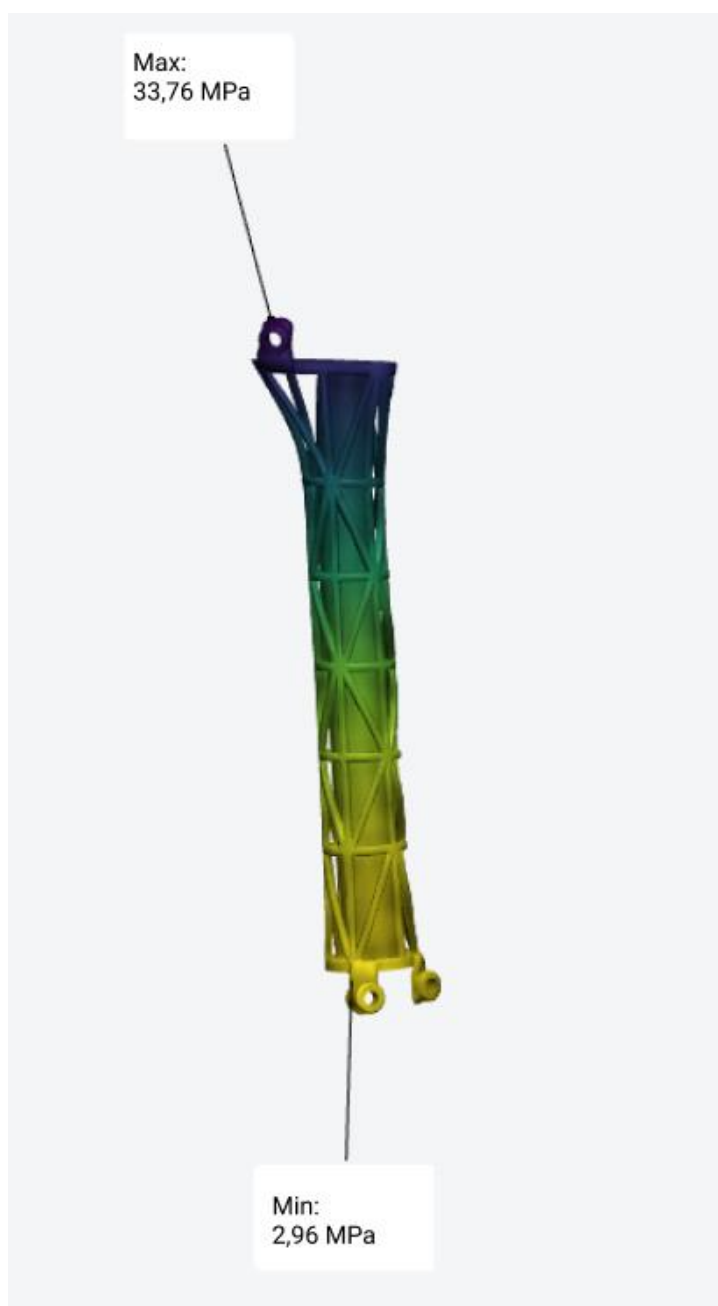


Рис. 3.6 – Отримані результати симуляції

Веб-версія демонструє аналогічні результати порівняно з десктопними

варіантами аналітичних програм. З урахуванням її переваг ми підтверджуємо, що вона є більш сучасною та практичною для медичних закладів.

Висновки до розділу 3

В розділі 3 ми розглянули процес створення 3D моделей імплантів та кісток, а також провели аналіз фізичних характеристик за допомогою аналітичних програм, зокрема веб-версії. Отже, можемо зробити наступні висновки:

Створення 3D моделей імпланту та кістки: В процесі створення 3D моделей імпланту та кістки використовуються CAD програми, що дозволяють точно моделювати форму та розміри об'єктів для подальшого аналізу.

Сегментування та імпорт КТ даних: Для створення 3D моделей важливим етапом є сегментування КТ даних, що дозволяє виділити області інтересу. Імпорт цих даних у CAD програми робить їх доступними для подальшої обробки.

Аналіз фізичних характеристик: Використання аналітичних програм, таких як SimSolid, дозволяє оцінювати фізичні характеристики імпланту та кістки, включаючи напруження, деформації та інші параметри.

Оптимізація та корекція моделей: В результаті аналізу можуть виявитися необхідність оптимізації дизайну імпланту чи корекції параметрів для досягнення бажаних результатів.

Перевірка результатів і автоматизація веб-застосунку: Веб-версія має схожі результати з десктопними версіями аналітичних програм, а враховуючи її плюси, ми доводимо що вона є більш актуальною для медичних закладів.

У цьому розділі ми показали процес створення та аналізу 3D моделей, який є важливим для дослідження розподілу навантажень в ендопротезах та інших медичних додатках.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

4.1 Ідея проекту

Розглянувши у попередніх розділах можливості системи по оцінці навантажень на ендопротези була створена система для хірургів з можливістю дистанційно оглядати ендопротез з кісткою і планувати операції. Далі буде проаналізовано стартап проекту «Analys&Planing company»(Рис – 7).



Рис. 4.1 – Логотип компанії

Назва Plan-A для стартап-проекту, який займається аналізом ендопротезів і планінгом операцій, є досить вдалою. Вона коротко і лаконічно передає основну ідею проекту - надання пацієнтам і лікарям кращого плану лікування за допомогою передових технологій.

Назва Plan-A також має ряд інших переваг:

- Вона є легко запам'ятовуваною та вимовною.
- Вона є позитивною та мотивуючою.
- Вона є універсальною та придатною для використання в різних мовах.

Звичайно, назва Plan-A не є ідеальною та може бути замінена на іншу, більш креативну або оригінальну. Однак вона є хорошим початком для розробки бренду стартап-проекту.

Ось кілька додаткових аргументів на користь назви Plan-A:

- Вона підкреслює важливість планування в процесі протезування.
- Вона асоціюється з успіхом та досягненням поставлених цілей.

- Вона є оптимістичною та надихає на позитивні зміни.

У цілому, назва Plan-A є добре продуманою та відповідає основним вимогам, які пред'являються до бренду стартап-проєкту.

Шрифт Frakton Sans є хорошим вибором для логотипу бренду стартап-проєкту, який займається аналізом ендопротезів і планінгом операцій. Він має ряд переваг, які роблять його придатним для цього призначення:

Він є сучасним і інноваційним. Frakton Sans є графічним шрифтом, який характеризується чіткими лініями і геометричними формами. Це робить його актуальним для сучасних технологічних компаній, таких як стартап-проєкти, які займаються аналізом ендопротезів і планінгом операцій.

Він є читабельним і зрозумілим. Frakton Sans має великі букви з простим дизайном. Це робить його легко читабельним, навіть на малих відстанях. Це важливо для логотипу, який повинен бути легко помітний і зрозумілий.

Він є універсальним. Frakton Sans доступний у декількох варіантах, які дозволяють адаптувати його до різних стилів і дизайнів. Це робить його універсальним вибором для логотипів різних брендів.

Ось кілька конкретних прикладів того, як шрифт Frakton Sans можна використовувати для логотипу бренду стартап-проєкту, який займається аналізом ендопротезів і планінгом операцій:

Класичний логотип з великими жирними буквами. Цей логотип буде виділятися і привертати увагу. Він також буде простим і зрозумілим, що важливо для логотипу бренду медичної галузі.

Логотип з більш тонким дизайном. Цей логотип буде більш вишуканим і сучасним. Він також буде добре працювати в мініатюрних форматах, таких як візитки або веб-сайти.

Логотип з використанням кольору. Frakton Sans доступний у декількох кольорах. Використання кольору може допомогти створити унікальний і

привабливий логотип.

Основна концепція проекту полягає в оптимізації та прискоренні процесу вибору ендопротезів, що ґрунтується на повному відтворенні стандартного суглоба чи кістки, включаючи вбудований протез та основні стабілізуючі зв'язки.

Таким чином, користувач отримає можливість отримувати безпосередні результати аналізу використання конкретних матеріалів у моделюванні протеза, конвертації, налаштування додаткових параметрів для моделі та планування операцій.

Далі проводиться аналіз потенційних технічних та економічних переваг даної ідеї порівняно з існуючими конкурентними пропозиціями:

- визначення техніко-економічних властивостей і характеристик;
- ідентифікація можливих конкурентів чи аналогів на ринку та збір кількісної інформації щодо їх техніко-економічних характеристик;
- проведення порівняльного аналізу зазначених показників для визначення слабких (а – W), нейтральних (б – N) та сильних (в – S) сторін представленої ідеї в порівнянні з конкурентами (Таблиця 4.1);

Таблиця 4.1. Визначення переваг, недоліків та нейтральних аспектів концепції проекту.

№ п/п	Техніко- економічні характеристики	Потенційні товари конкурентів				W	N	S
		Сама система	Інженери SolidWorks	Інженери	3D модель			
1.	Вартість системи	5000 грн	Від 1000 до 5000грн за модель	Стандартна зарплата 18000 грн	Необхідно створювати інженеру	-		
2.	Моделі ендопротезів	+	-	-	+			+
3.	3Dмодель	-	+		-	-		
4.	Аналіз	+	+	+	-		+	

На сучасному ринку існує три категорії конкурентів: експерти, які мають глибокі знання в області програмного забезпечення для моделювання, таких як Ansys та SolidWorks; а також моделі, які доступні для покупки в Інтернеті. Для користування першими двома програмами необхідно мати значні знання цих програм або залучати фахівців, проте вони володіють високою гнучкістю для використання в різних сферах. Можна прийти до висновку, що наш стартап є більш спеціалізованим продуктом, орієнтованим на вузьку нішу.

4.2 Технологічний аудит концепції проекту

У даному розділі проведемо аналіз технологічного аудиту, який буде використаний для втілення концепції стартап-проекту.

Оцінка технологічної реалізованості ідеї проекту включатиме аналіз ключових компонентів, що подані у таблиці 4.2

Таблиця 4.2. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту		Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Середовище виготовлення продукту	Розробка моделі ендопротезу	SolidWorks	Наявна на ринку	Доступна
			3ds Max	Наявна на ринку	Недоступна
			ZBrush	Наявна на ринку	Недоступна
		Аналіз моделі	OnScale	Наявна на ринку	Доступна
			Abaqus	Наявна на ринку	Недоступна
2.	Продаж продукту		В мережі Internet	Наявна	Доступна
			DVD-диски	Наявна на ринку	Доступна
			USB-флеш-накопичувач	Наявна на ринку	Недоступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: проектування SolidWorks, аналіз OnScale, реалізація через мережу Internet.					

Загальний висновок із Таблиці 2 вказує на те, що на даний момент найбільш оптимальні програмні середовища для успішної реалізації стартап-проекту

включають у себе:

- Розробка моделі колінного суглобу у програмному середовищі SolidWorks.
- Математичний аналіз моделі в середовищі OnScale
- Продаж продукту найлегше провести у мережі Internet.

4.3 Оцінка ринкових можливостей стартапу

Необхідно оцінити ринкові можливості, які можуть бути використані при впровадженні стартап-проекту, і ідентифікувати загрози, які можуть впливати на його успішну реалізацію. Це допоможе визначити, наскільки ринок потребує даного проекту і яку цінність та рентабельність він може принести розробникові.

Спочатку проведемо аналіз попиту, визначаючи наявність попиту, його обсяг та динаміку ринку. Рентабельність проекту буде залежати від сфери використання продукту стартап-проекту. Наприклад, для сфери виробництва протезів можна провести розрахунки, використовуючи формулу 1.

$$R = \frac{P}{l \times n} \times 100\% \quad (1)$$

де P – прибуток за час експлуатації проекту;

l – повна сума інвестиційних витрат;

n – час експлуатації.

Прибуток представляє чистий дохід від продажу готових планів операції та ендопротезів протягом їхнього періоду експлуатації. У середньому компанія щорічно виробляє 1000 протезів та планів, при цьому середній чистий прибуток з кожного випадку складає приблизно 2000 гривень. Ціну на всі компоненти системи включаємо до загальної суми інвестиційних витрат. Ця схема ефективно працює при умові, що конфігурація залишається актуальною протягом року.

Для подальшого аналізу необхідно провести оцінку характеристик потенційного ринку (Таблиця 4.3).

Таблиця 4.3. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	База клієнтів	Це включає в себе навчальні установи, що спеціалізуються у біоінженерії та медицині, поліклініки з готовими рішеннями, а також наукові установи, які займаються розробкою систем. Тобто, ми маємо понад тисячу потенційних клієнтів.
2	Продажі	На одного клієнта необхідна 1 система
3	Ринок	Збільшується через необхідність проведення значної кількості ревізійних операцій.
4	Обмеження входу на ринок	1. Установи мають власних 3D-дизайнерів та інженерів для аналізу на ставці. 2. Вищі не мають фінансування для придбання необхідного програмного забезпечення. 3. Новатори не мають коштів на придбання продукту.
5	Вимоги до стандартів	Потреба у проведенні медичної сертифікації та стандартизації, включаючи протез, розроблені на основі цього продукту.
6	Середня рентабельність на ринку	Числовий показник залежить від того, у якій галузі застосовуватиметься дана ідея. Найочевидніше, вирахована рентабельність найвищою буде в області виробництва протезів. Таким чином, вказано саме це значення $R=290\%$.

Можна стверджувати, що ринок, з точки зору кількості можливих клієнтів, не є великим. Проте варто враховувати, що самі клієнти представляють собою значущі компанії, і рентабельність такого стартап-проекту може бути високою при укладанні партнерств з великими виробниками.

Далі буде проведено характеристику основних груп потенційних клієнтів, і буде складений список вимог до продукту стартап-проекту для кожної з цих груп (Таб. 4.4).

Таблиця 4.4. Характеристика груп потенційних клієнтів даного проекту

№ п/п	Потреба для ринку	Клієнтура	Різниці в поведінці різних потенційних груп цільових клієнтів.	Вимоги клієнтів
1.	Аналіз навантажень на ендопртез та планування операцій	Лікарні	Проект має слідувати медичним стандартам У лікарні повинен бути відсутній інженер, що може повторити систему.	- Продукт науково обґрунтований ; - Продукт має слідувати медичним нормам:
		Наукові лабораторії	Скоріше за все мають своє готове рішення	Можливість виставляти необхідні характеристики та параметри для матеріалів.

Продовження таблиці 4.4

2.	Навчання кадрів	Інститути та інші вищі навчальні заклади	Через те що спонсоруються державою, мають дуже обмежений бюджет	- Простота використання та можливість варіабельності використання під час вивчення програми; - Постачальник має сплачувати податки.
----	-----------------	--	---	--

У цілому, продукт майже повністю відповідає всім вимогам ринку. Однак для задоволення всіх сегментів ринку необхідно внести певні покращення, зокрема розробити додаткові інструменти всередині системи для врахування потреб більшості потенційних клієнтів.

Існують певні загрози, які можуть виникнути при використанні даного додатку (Таб 4.5). Основною загрозою є можливі зміни в уподобаннях користувачів у використанні системи. Крім того, до ризиків варто віднести конкуренцію з боку інших компаній і можливу втрату необхідності в покупці додатку, якщо в компанії вже є фахівці, які можуть створити подібний продукт.

Таблиця 4.5. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Переосмислення пріоритетів при використанні конкретного типу протезів.	Створений банк моделей протезів стане застарілою та втратить свою наукову цінність.	Розробка асортименту моделей протезів різних типів.
2.	Модифікація конфігурації протезів, що включає повну зміну їхнього вигляду та структури.	Існуюча концепція протезу застаріє та втратить свою наукову актуальність.	Розробка нового виробу та його впровадження на ринок.
3.	Наявність власних інженерів та 3D-дизайнерів у компаніях.	Придбання даного товару може стати непотрібним, оскільки інженер вже отримує оплату за свою роботу, яка включає в себе створення моделей у його обов'язки.	Вдосконалення моделей та створення високоякісної моделі завдяки більш високій кваліфікації в цій галузі.
4.	Введення конкурентної системи на ринок.	Можлива розробка програми, яка включатиме всі можливі конфігурації з різними типами протезів.	Вартість такої програми буде значно вищою, тому можливо знизити ціну на власний продукт і змінити стратегію в розташуванні на інших ринках збуту.
5.	Раптове погіршення ситуації в Україні.	Великі компанії відмовляться взаємодіяти з підприємством, яке, через нестабільну ситуацію в країні, не може забезпечити необхідну підтримку додатку.	Перенесення місцезнаходження або країни реєстрації продукту.

Отже, існують значущі загрози для такого стартап-проекту. Щоб уникнути невдачі ідеї, необхідно розширити асортимент моделей протезів, забезпечуючи їх високу відповідність реальним потребам.

У той самий час, разом із загрозами, відкриваються різні можливості (див. Таблиця 4.6).

Таблиця 4.6. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Відсутність виразних прямих конкурентів.	Самостійне встановлення цінового рівня для товару.	Підвищення вартості товару.
2.	Рівень розвиненості наукової сфери.	Неперервне створення нових матеріалів для потенційного використання в цій галузі.	Це призведе до зростання попиту на програму, що відкриває можливість розширення асортименту пропонованих типів протезів.
3.	Достатньо невеликий рівень оподаткування.	Процентний рівень оподаткування вищий у порівнянні із зарубіжними країнами..	Цей фактор може сприяти отриманню більшого прибутку.
4.	Економічне оформлення патенту на продукт.	У порівнянні з іншими країнами, у нас патент має доступні витрати, що полегшує вхід на ринок.	Ефективне отримання патенту та скорочення витрат на його впровадження на ринку.
5.	Ситуація в політиці країни.	Зі зростанням нестабільності в країні ціна на товар стає більш доступною для іноземних покупців.	Ціна на товар може зрости в порівнянні з конкурентами з-за кордону.

Основна перевага полягає в відсутності конкурентів, які пропонують

аналогічний продукт. Це дозволяє встановлювати власні ціни на товар. Проте важливо враховувати, що існує певний поріг цінової точки, після якого покупцям вигідніше найняти фахівця для самостійного створення необхідного товару.

Конкурентна ситуація для цього стартап-проекту є унікальною, оскільки відсутні прямі конкуренти у сфері продукції. Тим не менш, існують конкуренти за способом досягнення аналогічного результату.

Для підвищення конкурентоспроможності слід розширювати модельний ряд продукції та розглядати використання різних суглобових систем людського організму, а не лише колінного суглобу.

Після огляду загального аналізу конкуренції, важливо провести більш детальний аналіз умов конкуренції, який представлений у таблиці 4.7.

Загалом, на основі аналізу можна зробити висновок щодо факторів, що впливають на конкурентоспроможність продукту стартап-проекту.

Таблиця 4.7. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Інженери та дизайнери безпосередньо на підприємстві	Спеціаліст и у використанні програмного забезпечення	До постачальників можна віднести компанії-власники програмного забезпечення	Забезпечення швидкості	Відсутність необхідності великої точності моделі;
Висновки	Конкурентність велика за рахунок їх універсальності	Строки входження рівні строкам створення подібної моделі.	Умови диктуються зміною функціоналу програми та зміною ціни ПЗ.	Клієнти диктують умови своїм рішенням	Важливість проведення ряду додаткових випробувань

На підставі розглянутих конкурентних факторів можна скласти перелік ключових аспектів, які визначають конкурентоспроможність продукту (таблиця 4.7) та провести їх аналіз (таблиця 4.8).

Таблиця 4.7. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Легкість використання	Навіть особа без попередніх знань у використанні програмного забезпечення легко освоїть додаток, оскільки в комплекті буде коротка та інформативна інструкція з використання.
2	Швидкість аналізу	Досягається швидкий аналіз навантажень завдяки наявності в додатку всіх необхідних переданалітичних операцій та додаткових оптимізацій.
3	Гнучкість у використанні (функціональність)	Варіативність використання для різноманітних цілей.
4	Ціна	Можливість застосування у наукових центрах та вищих навчальних закладах залежить від цього.

Таблиця 4.8. Аналіз переваг та недоліків в порівнянні.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні зі стаціонарними інженерами компаній						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Легкість використання	15			+				
2	Швидкість аналізу	13	+						
3	Наявність готової моделі	12		+					
4	Гнучкість у використанні (функціональність)	20						+	
5.	Ціна на товар	16			+				

Враховуючи інформацію з таблиць 4.7 та 4.8, можна зробити висновок, що фактори конкурентоспроможності значно сприяють впровадженню додатку на ринку збуту. Важливо відзначити, що ключовими характеристиками, які роблять цей товар привабливим, є легкість використання програмного забезпечення для початківців, швидкість аналізу та наявність готової моделі для дослідження.

Сформулюємо отримані висновки у таблиці SWOT-аналізу 4.9.

Таблиця 4.9. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Наявність готової моделі кінцевих елементів; 2. Швидкість проведення математичного аналізу; 3. Можливість використання без глибокого вивчення роботи програмного забезпечення; 4. Швидкість введення нових матеріалів.	1. Витрати на програмне забезпечення; 2. Гнучкість в експлуатації; 3. Вимоги до потужного обчислювального обладнання; 4. Простота виходу з ринку.
Можливості	Загрози
1. Відсутність прямих конкурентів на ринку; 2. Постійний науковий прогрес, що призводить до постійної потреби у додатку; 3. Низький рівень оподаткування порівняно із закордонними країнами; 4. Швидкість та вартість патентування; 5. Знижена ціна для іноземних власників через нестабільну ситуацію в країні.	1. Зміна пріоритетів у використанні конкретного типу протезів; 2. Зміна конфігурації протезів; 3. Присутність власних інженерів і 3D-дизайнерів на підприємствах, які можуть виконувати аналогічні завдання; 4. Введення конкуруючої програми на ринок; 5. Загострення економічної ситуації в Україні, що може викликати недовіру зі сторони іноземних компаній; 6. Непотрібність освітнього продукту на українському ринку.

Враховуючи SWOT-аналіз, ми розробляємо альтернативні стратегії введення стартап-проекту на ринок, які представлені в таблиці 4.13. Під час

оцінки цих альтернатив можна зазначити, що найбільш вигідним та ефективним з точки зору ресурсів та часу є розширення асортименту моделей протезів.

Розробка кожного нового ендопротеза забирає приблизно місяць, що робить цей варіант менш витратним порівняно з іншими. Також як можливий аспект розглядається індивідуальний підхід до проектів для підприємств, спрямований на зменшення конкуренції зі стаціонарними інженерами та дизайнерами.

Таблиця 4.10. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Варіант стратегії на ринку.	Ймовірність доступу до ресурсів.	Строки
1	Розширення асортименту суглобових моделей у людському організмі.	Виконується підприємством-виконавцем та вимагає додаткового аналізу певного суглобу з використанням КТ-знімків.	Необхідно розробити додатковий суглоб, середній час витрат на створення одного суглоба становить 0,5 року.
2	Розробка повноцінного програмного забезпечення з можливістю вибору різних суглобів та різних типів протезів для них, а не окремого додатку.	Необхідність формування повного персоналу, включаючи програмістів, та додаткове придбання програмного забезпечення для розробки.	Розробка програмного забезпечення зазвичай займає в середньому від 1,5 до 2 років.
3	Надання індивідуальних послуг на замовлення підприємств.	Виконується фірмою виконавцем і може обійтися без додаткових ресурсів.	Термін залежить від складності замовлення та становить приблизно від 1 до 3 місяців.

4.4 Стратегія ринкового розвитку проєкту

Перш за все, розробка стратегії введення на ринок визначає потенційні сегменти споживачів (див. табл. 4.11).

Таблиця 4.11. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Характеристика цільової аудиторії потенційних клієнтів	Готовність споживачів	Орієнтовний попит цільової групи	Конкуренції	Важкість входу
1	Виробники ендопротезів	Висока	Середній	Середня	Середньої важкості
2	Наукові установи	Низька	Високий	Середня	Легко
3	Освітні заклади	Низька	Високий	Відсутня	Важко

На підставі проведеного аналізу потенційних цільових груп споживачів були вибрані дві наступні: виробники ендопротезів та наукові установи. Цей вибір здійснено враховуючи відносно простий вхід на ринок та високу готовність споживачів прийняти рішення з придбання даного товару. З метою працювання в такому сегменті медичного ринку необхідно розробити стратегію розвитку продукту (таб 4.12).

Таблиця 4.12. Визначення базової стратегії розвитку

Вибраний альтернативний варіант розвитку проєкту.	Стратегія охоплення ринку	Основні конкурентні переваги відповідно до обраного варіанту розвитку.	Базова стратегія розвитку
Розширення кількості інструментів і ендопротезів	Диференційований маркетинг.	Висока якість та анатомічна подібність моделі	Стратегія диференціації.

Отже, враховуючи цільові групи споживачів, підтверджено вибір альтернативного шляху розвитку проекту, і в результаті обрано диференційовану стратегію розвитку. Ця стратегія відповідає потребам обох груп, які виявили певні відмінності в своїх основних потребах. Далі визначається стратегія конкурентної поведінки (табл. 4.13).

Таблиця 4.13. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект піонером на ринку?	Чи компанія має намір привертати нових клієнтів, чи обирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія реплікувати основні характеристики товару конкурента, і які саме?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Так	Так	Ні	Стратегія лідера

Обираючи стратегію лідера як основну, було враховано, що даному ринку ще не притаманний лідер, і відсутня пряма конкуренція. Основною метою на даному етапі є стимулювання споживачів для використання додатку Ansys. Кожному споживачу буде надано навчальний курс з використання товару, а також запропоновані розширені послуги, щоб підтримати його і заохотити використовувати додаток.

З урахуванням вимог споживчих груп до постачальника та товару, а також відповідно до стратегії розвитку і конкурентної поведінки, формується стратегія позиціонування. Ця стратегія визначає ринкову позицію, яка ідентифікує товар за конкретними ознаками (табл. 4.14).

Таблиця 4.14. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги, які ставить цільова аудиторія до товару.	Основний напрямок стратегії розвитку.	Основні конкурентні переваги нашого стартап-проекту.	Обрання асоціацій для комплексного позиціонування власного проекту (три основні).
	Значення наукової моделі та якість математичного аналізу.	Стратегія диференціації	Висока якість та анатомічна правдоподібність моделі, швидкість отримання результатів аналізу, легкість використання.	Швидкість. Якість. Легкість використання

Цей підрозділ веде до розробки системи рішень для поведінки стартап-власника на ринку, визначаючи напрямок дій компанії у сфері збуту. У нашому випадку головні критерії, за якими споживачі обиратимуть наш товар, включають швидкість аналізу, простоту використання без спеціальних знань та достовірність модельованого продукту.

4.5 Розроблення маркетингової стратегії стартапу

Розробка маркетингової концепції, яка приверне увагу споживачів, є першим кроком у створенні маркетингової програми. Результати аналізу конкурентоспроможності товару представлені в таблиці 4.15.

Згідно з аналізом альтернативних шляхів впровадження товару, найменш затратними за ресурсами та часом є розширення асортименту моделей колінних протезів. Розробка однієї додаткової моделі займає приблизно місяць. Також, як можливий варіант, розглядається надання індивідуальних проектів для підприємств, що може зменшити конкуренцію зі стаціонарними інженерами та дизайнерами.

Таблиця 4.15. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода яку пропонує проект	Головні плюси в порівнянні з існуючими конкурентами або тими, які ще треба створити.
1.	Наявність готової моделі суглоба.	Створена база готових моделей	Необхідність наймати окремого фахівця з експертизою в анатомії для моделювання не є обов'язковою.
2.	Варіативність моделей	Можливість налаштування під конкретні замовлення клієнтів.	Потрібно розробити асортимент моделей для різних типів суглобів та відповідні протези до них.
3.	Швидкість підрахунку.	Готова основа з можливістю налаштування характеристик матеріалу.	У моделі вже налаштовані всі контакти між її елементами, тож немає необхідності в найманні фахівця з програмного забезпечення для цього.
4.	Цінність у науковому плані та придатність до практичного застосування.	Відповідність анатомічним характеристикам типового суглобу.	Досліджено структуру опорно-рухового апарату й визначені найбільш оптимальні характеристики.
5.	Легкість використання.	Коротка інструкція до програми, обсяг якої не перевищить однієї сторінки.	Здатність використовувати додаток навіть людям без попередньої освіти у цій області програмного забезпечення.

Далі буде створення трьохрівневої маркетингової моделі для продукту, який зараз наявний (див. таблицю 4.16).

Таблиця 4.16. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Задум	Миттєвий аналіз моделі з можливістю маніпулювати параметрами матеріалів протеза та легкість в користуванні.		
II. Реальне використання	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Використання математичного аналізу убезпечує від необхідності проведення лабораторних досліджень на людях.	Нематеріальна	Технологічна
	2. Зручність у доставці товару замовнику.	Матеріальна	Імпортбельності
	3. Не потрібно фізично створювати прототип.	Матеріальна	Економічна
	4. Швидкість та простота проведення аналізу.	матеріальна	Ергономічна
	5. Відсутність проблем з утилізацією через відсутність прототипу.	Матеріальна	Екологічна
	Якість: відповідає нормам ДСТУ EN 62304:2014		
	Пакування: програмне забезпечення продається через Internet		
	Марка: «Analys&Planing company»		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: Можливість отримання консультацій щодо продукту та можливість зробити індивідуальне замовлення.		
	Після продажу: Постійна підтримка цілодобово, додаткові консультації та безкоштовне навчання використанню програми.		

При оцінці трьох рівнів товару можна зробити висновок, що його можна успішно впровадити на ринок і задовольнити потреби споживачів, спростивши аналіз необхідних параметрів. Задум відповідає реалізації, а додаткові

підтвердження гарантують споживачеві функціональність товару.

Важливим етапом є визначення цінового діапазону, за яким слід керуватися при встановленні ціни на продукт. Цей етап включає аналіз конкурентів та фінансової спроможності потенційних споживачів (див. таблицю 4.17).

Таблиця 4.17. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Ціновий рівень товарів, що можуть замінити дані продукти.	Ціновий рівень продуктів, що є аналогами даного товару.	Середній дохідність споживачів у цільовій групі.	Граничні рамки для визначення цінової політики товару або послуги.
1.	Інженери Від 16000 до 30000грн	Ціна за 3D-модель від 3000грн до 10000грн	Фірми які виготовляють протези $\approx$ 4000000 грн	Мінімум – 10000 грн Максимум – 50000грн
2.			Наукові установи $\approx$ 700000 грн/рік.	
3.			Навчальні заклади = Залежать від затвердженого бюджету держави	

Встановлення верхньої межі ціни обумовлено тим, що не кожен інженер у компанії володіє необхідними навичками у використанні програмного забезпечення, і їм необхідні навчальні курси для оволодіння цими знаннями. Нижня межа встановлюється тим, що наш продукт вже готовий і не потребує очікування від виконавців для виконання замовлення.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту товару споживачам .(таб.18)

Таблиця 4.18. Формування системи збуту

Характеристика способу закупівельної діяльності цільових клієнтів.	Обов'язки постачальника товарів у сфері збуту, які він повинен виконувати.	Розмірність каналу для реалізації товару.	Ефективна система реалізації товарів.
Покупці можуть придбати ліцензію на одне або кілька комп'ютерів. Найкраще продавати без посередників, оскільки товар новий на ринку і потребує особистого пояснення клієнтові.	Детальний опис функціональності продукту; Проведення вступного навчання з установки та використання (при потребі).	0-канал	Класична або пряма мережа розповсюдження.

Оптимальна система включає безпосереднє розповсюдження без посередників, оскільки важливо спочатку пояснити користь цього продукту споживачеві. Традиційна система розповсюдження буде використана пізніше, коли товар буде представлений на незалежних платформах, що зацікавлені у власному прибутку, а не в загальному успіху компанії-виробника.

Висновки до розділу 4

Після аналізу стартап-проекту виникає декілька важливих висновків. На ринку поки що немає прямих конкурентів, але існують можливі замітники у вигляді інженерів SolidWorks, які не досягають такої швидкості та ефективності як наш продукт, але мають більшу гнучкість у замовленнях. Для конкурування з ними, потрібно розширити лінійку протезів та додати опцію індивідуального замовлення. Розширення лінійки також буде вигідним для мінімізації ризику втрати ринкової позиції через зміну у використанні типів колінних ендопротезів.

Основною перевагою нашого товару є його простота використання, швидкість аналізу та висока якість виконання моделі. Ці якості є ключовими для успішної рекламної кампанії та впровадження товару на ринок.

Цільовими групами споживачів обрані виробники колінних ендопротезів, лікарні та наукові установи, оскільки вони є легкодоступними та зацікавленими у

нашій продукції. Тому, було обрано диференційовану стратегію розвитку для цих цільових груп.

Товар "Analys&Planing company" має потенціал успішно вигідно представити на ринку та задовольнити потреби споживачів. Основний задум відповідає реальності, а додаткові підкріплення гарантують функціональність товару. Однак, на цьому етапі планується реалізація без посередників, що дозволить нам надавати необхідні інструкції безпосередньо під час покупки.

Середня можлива ціна за таку систему складає приблизно 30000 гривень. Верхня межа ціни визначалася тим, що не кожен інженер у фірмі володіє необхідними знаннями у програмному забезпеченні і для них потрібні додаткові курси. Нижня межа встановлена через готовність продукту та відсутність очікувань від виконавців для виконання замовлень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Під час проведення магістерської дисертації були ідентифіковані основні проблеми захворювань опорно-рухового апарату людини та висвітлені основні методи їх вирішення. Один із таких методів широко використовується - ендопротезування, як ефективний спосіб подолання складних випадків.

Встановлено, що для створення повноцінної 3D-моделі протезованого колінного суглоба в середовищі комп'ютерної томографії потрібно використовувати дані цього обстеження для формування базової 3D-моделі. Була створена модель середньостатистичної стегнової кістки, взаємодіючої з протезом.

Після аналізу виявлено, що при навантаженнях на протез найбільш проблемною є зона контакту протезу та стегнової кістки, де можливе пошкодження кістки, що з часом може призвести до втрати стабільності протеза.

Використовуючи SimSolid та веб-застосунок OnScale, створено повноцінну систему, яка дозволяє проводити тестування. Основна перевага полягає в тому, що хірург може отримати мінімальний план операції та вибрати тип ендопротезу, який вже перевірений на міцність, незалежно від технічних обмежень комп'ютерної техніки в медичному закладі.

Завдяки розробці стартап-проекту був визначений цільовий ринок, що може зацікавитися такою розробкою - це компанії, які виробляють ендопротези, та медичні заклади, що здійснюють відповідні операції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Salvage total hip arthroplasty after failed internal fixation for proximal femur and acetabular fractures / Ching-Chieh Hung, Kuan-Hsiang Chen, Chih-Wei Chang, Yi-Chen Chen, Ta-Wei Tai – 2023.
2. Revision surgeries for tumor endoprostheses around the knee joint: a mid-long-term follow-up of 20 cases / Pengfei Zan, Hongsheng Wang, Zhengdong Cai, - 2022
3. Netter Atlas of Human Anatomy: Classic Regional Approach / Netter MD, Frank H.- 2022
4. The Complete Human Body, 2nd Edition / Dr. Alice Roberts – 2016
5. Ganong's Physiology Examination and Board Review / Kim E. Barrett; Susan M. Barman; Scott Boitano; Jane F. Reckelhoff – 2018
6. Endoprosthetics / Krukemeyer, Manfred Georg, and Gunnar Möllenhoff – 2014
7. Percutaneous Placement of a Temporary Large-Bore Biliary Endoprosthesis / McCabe, Sam, Christopher Harnain, and Grigory Rozenblit – 2018
8. Endoprosthetics / E. W. Morscher – 2016
9. Functional Assessment of the Patient with Total Hip Endoprosthesis / Necul E – 2017
10. Prosthesis / David Wills – 2021
11. A Finite Element Analysis Of Elbow Joint In Daily Activities / T. A. Khoo – 2016
12. 3D segmentation and boundary completion using subjective surface method / Lina Gundelwein – 2017
13. Landmarking and Segmentation of 3D CT Images (Synthesis Lectures on Biomedical Engineering) / Shantanu Banik – 2015
14. Enhancing 3D Medical Image with Segmentation Techniques / Bhawna Dhruv – 2023
15. Applications of 3D printing in Biomedical Engineering / Neeta Raj Sharma - 2021
16. 3D Printing in Biomedical Engineering / Sunpreet Singh, Chander Prakash, Rupinder Singh - 2021
17. 3D Printing in Medicine / Deepak M. Kalaskar - 2017
18. 3D Printing: Applications in Medicine and Surgery, 1st Edition / Georgios Tsoulfas,

Petros I. Bangeas and Jasjit Suri – 2019

19. Morrey BF. Difficult complications after hip joint replacement. Dislocation. Clinical Orthopaedics and Related Research. 1997;344:179-187.
20. Long M, Rack HJ. Titanium alloys in total joint replacement – A materials science perspective. (1998) Biomaterials 19-1621-1639.
21. Kurtz, Steven M., 1968-. The UHMWPE handbook : ultra-high molecular weight polyethylene in total joint replacement. — Amsterdam: Academic Press, 2004. — 1 online resource (xiv, 379 pages) c. — ISBN 1417537221, 9781417537228, 9780124298514, 0124298516.
22. Sharplin P, Wyatt MC, Rothwell A, Frampton C, Hooper G. Which is the best bearing surface for primary total hip replacement? A New Zealand Joint Registry study. Hip Int. 2018;28(4):352-362. doi:10.5301/hipint.5000585.
23. Affatato S. In: Perspectives in Total Hip Arthroplasty: Advances in Biomaterials and Their Tribological Interactions. Affatato S., editor. Elsevier Science; Amsterdam, The Netherlands: 2014.
24. Hu D., Tie K., Yang X., Tan Y., Alaidaros M., Chen L. Comparison of ceramicon-ceramic to metal-on-polyethylene bearing surfaces in total hip arthroplasty: a meta-analysis of randomized controlled trials. J. Orthop. Surg. Res. 2015;10:22. doi: 10.1186/s13018-015-0163-2.
25. Fisher J., Firkins P.J., Tipper J.L., Ingham E., Stone M.H., Farrar R. In-vitro wear performance of contemporary alumina: Alumina bearing couple under anatomically-relevant hip joint simulation. In: Toni A., Willmann G., editors. Reliability and Long Term Results of Ceramics in Orthopedics. Thieme Verlag; Stuttgart, Germany: 2001. pp. 1291–1298.
26. Standard Loads Hip Joint [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://orthoload.com/test-loads/standard-loads-hip-joint/>
27. Asymmetric loading of a hip arthroplasty [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.researchgate.net/figure/Asymmetric-loading-of-a-hip-arthroplasty_fig3_261441796
28. Быканова А. Ю., Старков А. В. Основы SolidWorks. Построение моделей

- деталей / Быканова А. Ю., Старков А. В.; учебно-методическое пособие. – Владивосток : ДВГТУ, 2009. – 120 с.
29. Бісмак О.В. Основи фізичної реабілітації: навч. посіб. / О.В. Бісмак, Н.Г. Мельнік. – Х.: Вид-во Бровін О.В., 2010 – 120 с.
30. Вовканич А. С. Вступ у фізичну реабілітацію: навч. посібник / А. С. Вовканич. – Львів: ЛДУФК, 2013. – 186 с.
31. Алямовский, А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский. - М.: СПб: БХВ-Петербург, 2008. - 192 с.
32. Большаков, В. 3D-моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex / В. Большаков, А. Бочков, А. Сергеев. - М.: Книга по Требованию, 2010. - 336 с.
33. Ханов Г.В., Безрукова Т.В. 3D моделирование в инженерной графике – Москва 2015.
34. Новые возможности SOLIDWORKS 2018. Оптимизация топологии пластины [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: https://help.solidworks.com/2018/russian/WhatsNew/c_topology_optimization_plate.htm.
35. SolidWorks 2017: в жизни всегда есть место новому [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=18820.
36. Быканова А. Ю., Старков А. В. Основы SolidWorks. Построение моделей деталей / Быканова А. Ю., Старков А. В.; учебно-методическое пособие. – Владивосток : ДВГТУ, 2009. – 120 с.
37. Инженерный анализ в среде SolidWorks Simulation [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://sapr.ru/article/21810>.
38. Демчук Г. В. Охорона праці та цивільний захист. Конспект лекцій. / Г. В. Демчук. – Київ, 2018. – 84 с. – (Національний технічний університет України “КПІ ім. Ігоря Сікорського”).
39. Демчук Г. В. Методичні вказівки до виконання розділу "Охорона праці" в

дипломних проектах для студентів Факультету біомедичної інженерії /

Гліб Вікторович Демчук. – Київ: НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського", 2016. – 37

с.

40. Silveira, L. T. Y. D., Silva, J. M. D., Soler, J. M. P., Sun, C. Y. L., Tanaka, C., & Fu, C. (2018). Assessing functional status after intensive care unit stay: the Barthel Index and the Katz Index. *International Journal for Quality in Health Care*, 30(4), 265-270.

41 .Wurdeman, S. R., Stevens, P. M., & Campbell, J. H. (2018). Mobility Analysis of Amputees (MAAT I): Quality of life and satisfaction are strongly related to mobility for patients with a lower limb prosthesis. *Prosthetics and orthotics international*, 42(5), 498-503.

42. Атлас анатомии человека [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://sbiblio.com/biblio/content.aspx>.