

АСПЕКТИ РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ КАРКАСУ ПЕРСОНІФІКОВАНОГО ПРОТЕЗУ КЛАПАНА СЕРЦЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В даній роботі описано призначення персоніфікованого клапану серця та його структура, а також розглянуті аспекти застосування моделювання при розробленні конструкції каркасу протезу клапана.

Ключові слова: клапан серця, принципи побудови моделі каркасу.

Abstract

The purpose of the personalized heart valve and its structure are describes in this work. The aspects of the modeling application in the development of the frame prosthetic valve structure also are considered.

Keywords: heart valve, principles of building a frame model.

Персоніфікований серцевий клапан – це медичний продукт, який використовується для заміни пошкодженого або недієздатного природного серцевого клапана, що виготовляється індивідуально для кожного конкретного пацієнта з урахуванням його анатомічних особливостей і потреб. Персоніфіковані клапани широко використовуються для лікування різних серцевих захворювань, таких як мітральний стеноз, аортальна недостатність та інші. Вони дозволяють відновити нормальний кровообіг та покращити якість життя пацієнтів. Процедура заміни серцевого клапана, включаючи персоніфіковані клапани, зазвичай проводять хірургічно – пацієнту може знадобитися хірургічне втручання при закритому або відкритому доступі до серця, залежно від його стану та особливостей.

Серед особливостей використання персоніфікованих серцевих клапанів можна виділити зниження ризиків та ускладнень для пацієнта. Завдяки врахуванню його унікальних параметрів персоніфіковані клапани забезпечують більш точну відповідність потребам людини, таким чином запобігаючи відторгненню клапану або порушенню кровотоку, які можуть виникнути при їх використанні. Однією з головних особливостей персоніфікованих клапанів є їхнє індивідуальне виготовлення для кожного пацієнта. Це досягається шляхом аналізу анатомічних та фізіологічних особливостей серця кожної людини, включаючи вибір розміру, форми і матеріалу каркасу клапана, з метою забезпечення найкращої відповідності конкретним параметрам серця пацієнта.

Серцеві клапани мають дві основні частини: каркас та клапанні пелюстки. Каркас є важливою частиною персоніфікованого клапана і відіграє ключову роль у його функціонуванні. Каркас персоніфікованого серцевого клапана – це структурна основа, яка служить опорою і на якій розміщується та кріпиться штучний клапан, а саме – закріплюються клапанні пелюстки. Він забезпечує міцну фіксацію клапана в серці та забезпечує його надійне відкриття та закриття відповідно до фази серцевого циклу, зберігаючи правильну форму і пружність та контролюючи потік крові. Каркаси можуть бути виготовлені з різних матеріалів, включаючи метал, синтетичні матеріали або біологічні тканини, залежно від конкретної ситуації та медичних рекомендацій.

Серед основних вимог, які висуваються до каркасу серцевого клапану можна сформулювати наступні:

- кріплення. Каркас повинен забезпечувати точне кріплення клапана всередині серця. Він встановлюється на потрібних анатомічних позиціях і фіксується так, щоб запобігти його зміщенню. До його структури прикріплюються клапанні пелюстки, що забезпечує їх підтримку та стабільність, дозволяючи їм правильно функціонувати;
- контроль потоку крові. Каркас клапана повинен визначати точний механізм відкриття та закриття клапана – дозволяти клапану відкриватися, щоб допустити кров у відповідну камеру серця, і закриватися, щоб запобігти зворотньому потоку крові;

- структурна цілісність. Каркас повинен бути міцним і довговічним, щоб витримувати довготривале функціонування клапана і вплив надмірного тиску потоку крові;
- механічна стійкість. Він повинен мати високу стійкість до механічних навантажень і тиску, які виникають в результаті функціонування клапана;
- індивідуалізація. У випадку персоніфікованих клапанів, каркас розробляється та виготовляється індивідуально для кожного пацієнта, враховуючи його конкретні анатомічні особливості.

Першим етапом реалізації каркасу є побудова його моделі. Модель каркасу протеза клапана серця – це абстрактна або фізична модель, яка відображає структурну основу та механізм роботи штучного клапана. Метою її створення є візуалізація процедури заміни клапана серця та формування розуміння цього процесу.

Загалом процес моделювання каркасу клапана серця можна представити у вигляді кількох етапів:

1. Збір даних. Зображення серця можна отримати за допомогою різних методів візуалізації. Ці дані можуть включати зрізи різних рівнів серця і судин, що необхідно для якомога точнішого моделювання каркасу клапана серця. Для цього використовуються різноманітні технології отримання медичного зображення, такі як магнітно-резонансна томографія (MRT) та комп'ютерна томографія (КТ). Ці методи дозволяють інженерам отримувати детальні зображення структури серця, включаючи клапани, їх розміри та геометрію.
2. Реконструкція. Спеціальні програми для обробки зображень використовуються для реконструкції серця на основі отриманих даних для створення тривимірної моделі структури клапанів, які підлягають заміні. Таким чином розробляється комп'ютерна 3D-модель серця, яка використовується для моделювання та аналізу поведінки клапанів під час різних сценаріїв.
3. Сегментація. Це процес виділення конкретних структур – клапанів – на побудованій 3D-моделі, що може здійснюватися вручну або за допомогою автоматизованих методів і відповідного програмного забезпечення.
4. Візуалізація. Завершена 3D-модель може бути візуалізована з використанням спеціалізованих програм, що дозволяє лікарям та дослідникам більш детально вивчати анатомію та функцію клапанів серця.
5. Реалізація. Одним з найбільш інноваційних напрямків у моделюванні каркасу клапана серця є застосування технологій 3D-принтингу. Його використання дозволяє інженерам створювати точні копії клапанів, індивідуально адаптовані до анатомії кожного конкретного пацієнта. Це відкриває шлях до персоналізованого підходу до лікування серцевих захворювань.

Важливі аспекти реалізації моделі каркасу протеза клапана серця включають:

- дотримання коректної геометрії. Модель повинна точно відтворювати форму та структуру каркаса клапана. Це включає кількість і конфігурацію пелюсток (зазвичай їх 2 або 3), а також їх місцезнаходження та спосіб кріплення до каркаса. Модель повинна бути пропорційною, щоб точно відображати реальні розміри та співвідношення каркаса клапана;
- модель може враховувати матеріал, з якого виготовлений каркас, наприклад метал, синтетичні полімери або біологічні тканини. Це важливо для демонстрації хімічних і механічних властивостей матеріалу та загальної біосумісності виробу;
- механізм відкривання та закривання. Модель може включати механізм відкривання і закривання пелюсток, який імітує дію реального серцевого клапана, реагуючи на потік крові та зміни тиску в серці. Це допомагає візуалізувати процес потоку крові та передбачити його поведінку в екстрених випадках;
- врахування схеми кріплення – включення деталей кріплення каркаса в серці з метою зображення способу його фіксації на місці після імплантації;
- модель можна використовувати для навчання медичних фахівців, студентів, а також для пацієнтів, щоб пояснити їм процес заміни клапана та його функції. Такі моделі можуть бути використані з освітньою метою та в наукових дослідженнях, щоб допомагати краще розуміти та візуалізувати важливі аспекти роботи штучних клапанів серця. В такі освітні моделі можна інтегрувати інтерактивні елементи, такі як механічна демонстрація відкриття та закриття клапана внаслідок руху крові.

Моделі каркасів можуть використовуватися для дослідження нових концепцій та технологій у галузі розробки штучних клапанів та покращення їх довговічності та ефективності.

Висновки

Моделювання каркасу клапана серця – це завдання, яке вимагає співпраці між медичними фахівцями та інженерами. Завдяки поєднанню інноваційних технологій, спеціалізованих програмних засобів, апаратних можливостей отримання зображень високої якості та інноваційних методів виробництва, процес моделювання каркасів клапанів серця сприяє покращенню загального процесу лікування серцевих захворювань та збільшенню тривалості життя пацієнтів.

Продовження досліджень у напрямку персоналізованої медицини відкриває нові можливості для лікування серцевих захворювань та підвищення якості життя пацієнтів. Таким чином, створення і використання сучасних персоніфікованих серцевих клапанів є важливим досягненням у кардіології та хірургії, які забезпечують індивідуальний та ефективний підхід до лікування та максимально точно відповідає потребам кожного пацієнта, зменшуючи ризики появи ускладнень та покращуючи результати заміни серцевих клапанів.

Моделі каркасів протезу клапана серця відіграють важливу роль в освіті, дослідженнях та розумінні складної анатомії та фізіології роботи серцевих клапанів. Вони допомагають пацієнтам, медичним фахівцям та інженерам краще усвідомити та оцінити важливість штучних клапанів серця у медичній практиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Винокурова В. Заміна клапана серця. Основні заходи безпеки при реабілітації пацієнтів / Винокурова В., Демчук Г. // Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки: Збірник матеріалів XXIII Всеукраїнської науково-методичної конференції (з участю студентів), м. Київ, 16-17 листопада 2020 р. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – с. 29–35.

2. Alexander E. Kostyunin. Degeneration of Bioprosthetic Heart Valves: Update 2020. / Alexander E. Kostyunin, Arseniy E. Yuzhalin, Maria A. Rezvova // Journal of the American Heart Association. – 2020. – Volume 9, Issue 19: e018506. – p. 1–19. doi: 10.1161/JAHA.120.018506.

3. Allen, Keith B. Bioprosthetic Valve Fracture to Facilitate Transcatheter Valve-in-Valve Implantation. / Allen, Keith B. // The Annals of Thoracic Surgery. – 2017. – Volume 104, Issue 5. – p. 1501–1508. doi:10.1016/j.athoracsur.2017.04.007.

Костішин Андрій Володимирович – магістрант гр. БМІ-22м, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Штофель Дмитро Хуанович – канд. техн. наук, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет.

Andrii V. Kostishyn – student of master degree, BMI-22m, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Dmytro Kh. Shtofel – Ph. D., Assistant professor of department of biomedical engineering and optoelectronic systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.