

Штучні елементи серця

У розвиненому суспільстві вже нікого не здивуєш новиною про протезування клапана, або установці штучного кардіостимулятора, стента в коронарній посудині. Але ж всі ці імплантуються пристрої, спрямовані на підтримку роботи рідного, людського «мотора» є запчастинами, деталями серця штучного.

Кардіостимулятор замінює клітини, відповідальні за вироблення імпульсації, механічний протез клапана бере на себе роль пошкодженого і успішно з нею справляються, каркасні стенти, що представляють собою металеву сітку врятували вже не одне життя від інфарктів, оскільки відновлюють порушений коронарний кровотік. Штучні серцеві запчастини успішно імплантуються в серцево-судинну систему, приживаються і рятують життя.



Медичні технології досягли настільки високого рівня, що сьогодні хірурги вміють проводити навіть операції з пересадки серця. Тільки ось донорських органів дуже мало, через що пацієнти вимушені довго чекати їх появи й іноді не доживають до цього моменту. Для збільшення шансів на життя, хірурги часто пересаджують людям штучні органи: інженери вже придумали механічні версії вух, очей, нирок і інших життєво важливих частин тіла. Одним з найскладніших органів в людському організмі є серце, необхідне для забезпечення органів кров'ю, багатою киснем і живильними речовинами.

Історія розробки

Найперші напрацювання в галузі розробки штучного серця були зроблені радянським ученим Володимиром Деміховим, який ще в 1937 році показав принципову можливість підтримки кровообігу в організмі собаки за допомогою пластикового насоса, що приводився в рух електродвигуном. Дві з половиною години, які прожила собака з цим механічним пристроєм, імплантованим на місце власного видаленого серця, стали відліком нової ери в медицині.

Свої розробки почали і американські вчені, але лише два десятиліття по тому. *В. Кольф та Т. Акутсу* розробили штучне серце з поліхлорвінілу, що складалось з двох мішечків, включених в єдиний корпус. Воно мало чотири тристулкових клапани з того ж матеріалу і працювало від пневмопривода, розташованого зовні. Ці дослідження поклали початок для цілої серії конструктивних рішень штучного серця із зовнішнім приводом.

Серцевий апарат *Dodrill-GMR*, який вважається першим операційним механічним серцем, успішно використовувався під час виконання операцій на серці. Протягом 1970-х років проводилися постійні дослідження на телятах у медичному центрі Герші, Центрі досліджень тварин, у Герші, штат Пенсільванія.

Апарат серце-легеня був вперше використаний в 1953 році під час успішної операції на відкритому серці. *Джон Хейшем Гібон*, винахідник апарату, виконав операцію і сам розробив замітник серця та легенів. Слідом за цими досягненнями науковий інтерес до розробки рішення для серцевих захворювань розвинувся у численних дослідницьких групах по всьому світу.

У 1949 році лікарями *Вільямом Севеллом та Вільямом Гленном* з Єльської медичної школи було побудовано попередник сучасного насоса для штучного серця, який використовував набір еректорів. Зовнішній насос успішно обійшов серце собаки більше, ніж годину.

Пол Вінчелл винайшов штучне серце за сприяння *Генрі Геймліха* (винахідник методу *Геймліха*) і отримав перший патент на такий пристрій. Університет штату Юта розробив подібний апарат приблизно в той же час, але коли вони спробували його запатентувати, то серце *Вінчелла* було названо більш технічною розробкою. Університет попросив *Вінчелла* пожертвувати серце їм, що він і зробив.

12 грудня 1957 року — *Віллем Кольф*, найбільший у світі винахідник штучних органів, імплантував штучне серце собаці в клініці *Клівленда*. Собака прожила 90 хвилин.

У 1964 році — *Національний інститут охорони здоров'я* розпочав програму «*Штучне серце*», мета якої — до кінця десятиліття створити штучне серце у людини. Метою програми було створення імплантованого штучного серця, включаючи джерело живлення для заміни серця, що вийшло з ладу.

У лютому 1966 року — *Адріан Кантровіц* здобув міжнародну популярність, коли здійснив першу у світі постійну імплантацію часткового механічного серця (допоміжного пристрою для лівого шлуночка) у *Медичному центрі Маймонідеса*.

Ідея імплантації штучного серця для підтримки життя реципієнта на період пошуку відповідного донора була реалізована в 1969 році, коли американський хірург *Д. Кулі* здійснив імплантацію штучного серця хворому, якого після резекції великої аневризми лівого шлуночка не вдавалося відключити від апарату штучного кровообігу. Через 64 години роботи штучне серце було замінено на аллотрансплантат, проте ще через 32 годин

хворий загинув від пневмонії. Це був перший випадок двоетапної операції трансплантації серця, яка сьогодні широко поширена.

27 жовтня 2008 року — французький професор та провідний фахівець з трансплантації серця Ален Ф. Карпентье оголосив, що повністю імплантоване штучне серце буде готове до клінічних випробувань до 2011 року, а до альтернативної трансплантації — до 2013 року. Виготовленням буде займатись біомедична фірма **Carmat**, та фірма венчурного капіталу **Truffle Capital**.

Розробка искусственного сердца началась в 1993 году, когда хирург и изобретатель искусственного сердечного клапана Ален Карпентье (Alain Carpentier) предложил французскому промышленнику Жан-Люку Лагардье (Jean-Luc Lagardere) идею создания искусственного сердца. Карпентье получил для работы несколько лабораторий и взял под управление ряд инженеров компании Лагардье под названием Matra. Постепенно проект расширялся, и сейчас его основным акционером является Airbus, в состав которого вошла и Matra. Карпентье и Лагардье владеют основной долей акций компании.

Прототип містив вбудовані електронні датчики і був виготовлений з хімічно оброблених тканин тварин, званих *біоматеріалами*, або *псевдошкірою* з біосинтетичних мікропористих матеріалів.

Згідно з прес-релізом компанії Carmat від 20 грудня 2013 року, перша імплантація її штучного серця 75-річному пацієнту була проведена 18 грудня 2013 року командою Європейської лікарні Жоржа Помпиду в Парижі. Пацієнт помер через 75 днів після операції.

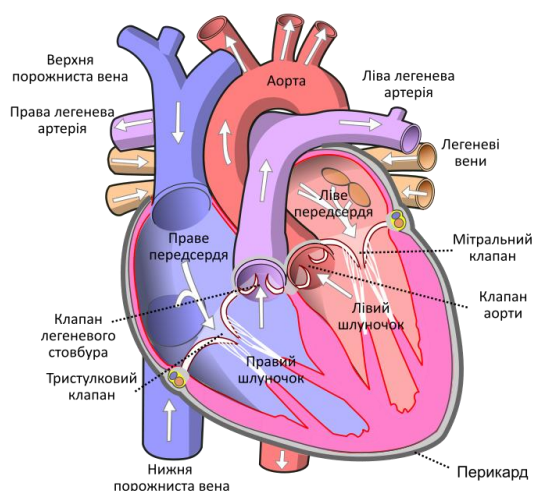
Як працює серце?

Імплант майже повністю імітує роботу справжнього серця. Цей орган качає кров шляхом скорочення чотирьох різних камер: лівого передсердя, правого передсердя, лівого шлуночка і правого шлуночка.

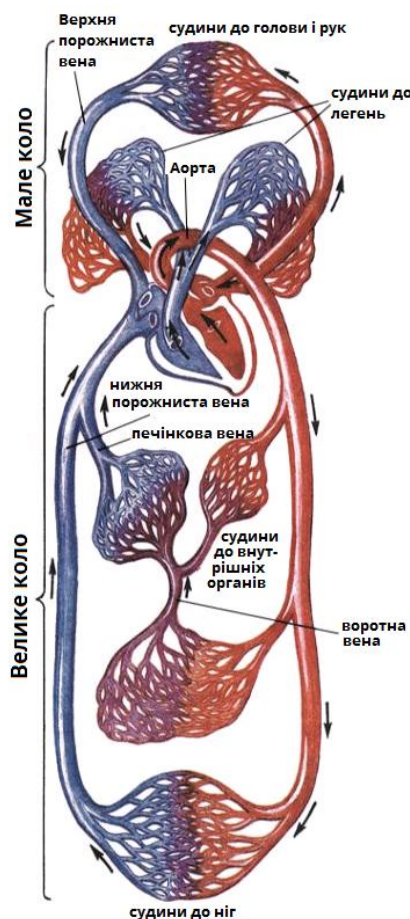
У здорових людей один цикл (удар) складається з трьох коротких етапів:

- наповнення передсердя, при якому кров з великих вен наповнює передсердя (0,10 секунд);
- скорочення шлуночків, при якому кров відправляється в органи (0,32 секунди);
- перерви, при якому серце відпочиває (0,4 секунди).

Правий шлуночок і ліве передсердя відповідають за мале коло кровообігу. По малому колі бідна киснем венозна кров тече з правого шлуночка серця по легневих артеріях до легень і збагачується киснем. Так з венозної вона перетворюється в артеріальну і по легневих венах відправляється в ліве передсердя.



Лівий шлуночок і праве передсердя відповідають за велике коло кровообігу. Це коло необхідне для кровопостачання всіх органів організму людини, в тому числі й самих легень.



Визначення штучного серця

В наш час під штучним серцем розуміється дві групи технічних пристроїв:

- до першої відносяться гемооксигенатори (апарати штучного кровообігу). Вони складаються з артеріального насоса, що перекачує кров, і блоку оксигенатора, який насичує кров киснем. Дане обладнання активно використовується в кардіохірургії, при проведенні операцій на серці та

вивчалось на курсі «Апаратура підтримки життєдіяльності організму людини».

- до другої відносяться кардіопротези, тобто технічні пристрої, що імплантуються в організм людини та покликані замінити серцевий м'яз і підвищити якість життя хворого. Слід зазначити, що в даний час такі пристрої є *експериментальними* і ще проходять клінічні випробування. Налічується невелика кількість людей, яким повністю імплантовано штучне серце, серед них два чоловіки в Україні.

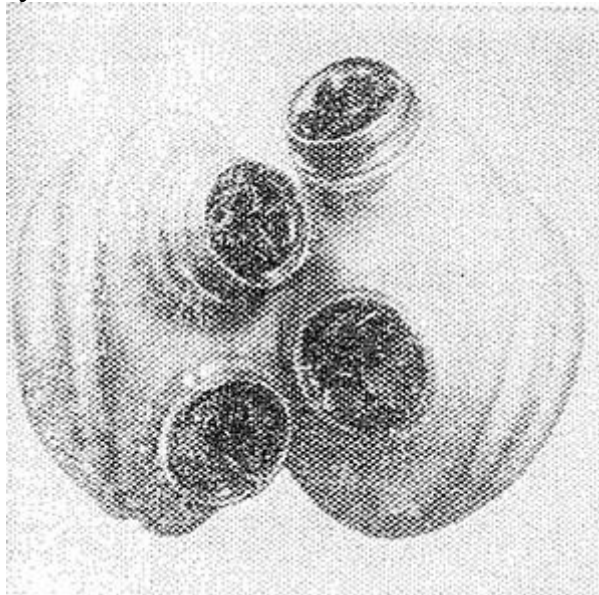
Штучне серце - це біонічний імплантат, який або замінює людське серце повністю, або одну з його частин, або просто доповнює серце. З таким штучним серцем в тілі людини підтримується нормальний кровообіг, що дозволяє підтримувати нормальний спосіб життя поза лікарнею. Штучна вентиляція серця використовується в медицині вже давно, але лише недавно виявили досить надійну заміну стаціонарним апаратам, і з кожним роком продовжують розвивати і покращувати ідею штучного кровообігу людини.

В імплантації приладу потребують пацієнти з важкими серцевими патологіями. Це може бути

- ішемічна хвороба серця після важкого інфаркту міокарда;
- деякі форми дилатаційної кардіоміопатії і інші захворювання.
- часто штучне серце імплантують хворим, які чекають на пересадки органу.

Виділяють моделі серця двох типів.

1. Модель «мішечкуватого типу» (рис. 1) - виготовлена з фторсиліконової каучуку.



Штучне серце «мішечкуватого типу».

В основу цієї моделі покладено топографічні дослідження серця людини і вимоги, що пред'являються до «сердечному насосу». Ці вимоги передбачають: використання матеріалів, здатних витримувати тривалі циклічні навантаження і перешкоджати тромбоутворенню; створення конструкцій, що виключають утворення застійних зон, областей підвищених

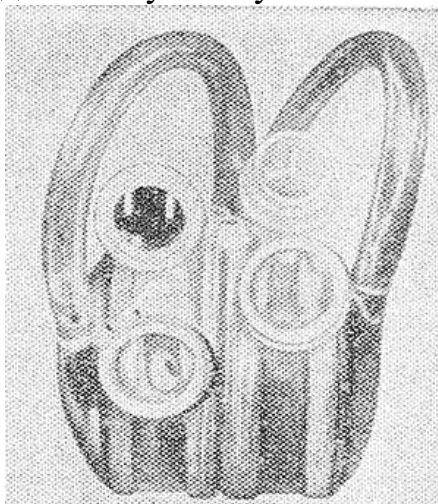
швидкостей зсуву і місцевих напружень; зведення до мінімуму площі циклічно дотичних поверхонь, від величини яких багато в чому залежить травма формених елементів крові.

Зовнішня стінка камер шлуночків жорстка або напівжорстка, а внутрішня - м'яка і еластична. На вході і виході з внутрішнього мішка є клапани. При подачі повітря або рідини між стінками такого шлуночка внутрішній мішок стискається і відбувається вижимання з нього крові »

При зниженні тиску між мішками відбувається расправление внутрішнього мішка; тиск всередині нього стає менше, ніж тиск перед вхідним клапаном, клапан відкривається і відбувається заповнення шлуночка кров'ю.

Сучасна модель має шлуночки, що забезпечують пульсуючий потік крові. Ця модель має невелику вагу, відповідає середній величині серця людини, зручна для імплантації. Апарат високочутливий до венозного притоку і має здатність збільшувати число пульсових циклів до 140-150 в 1 хв. що дозволяє досягати хвилинного обсягу перекачується крові до 14-15 л.

2. Інша модель І. с. (Рис. 2) має «діафрагмовий тип» конструкції в жорсткому корпусі. Активні передсердя знижують тиск пульсуючого струму крові в венозному руслі, завдяки чому знижується гемоліз.



Штучне серце «діафрагменного типу».

Систолічний викид крові в цій моделі. і подальше заповнення шлуночків відбуваються в результаті зміни положення діафрагми під тиском на її поверхню газу або рідини від приводу. Односпрямований потік крові в штучних шлуночках забезпечують вхідний і вихідний клапани.

Конструкції клапанів для надзвичайно різноманітні. Всі їх можна розділити на пелюсткові і вентильного типу. Пелюсткові клапани бувають одно-, двох-, трьох- і навіть чотирьох пелюсткові. Клапани вентильного типу мають запірательні елементи в формі диска, конуса або півсфери. У деяких моделях серця із зовнішнім приводом застосовуються природні (свіжі або консервовані) клапани серця тварин (телят або свиней), які закріплюють на спеціальних каркасах. Поверхня жорсткої конструкції корпусу використовується для нанесення струмопровідного шару, який служить

обкладкою конденсатора ємнісного датчика обсягу крові; другий обкладанням конденсатора є кров на кордоні розділу кров - діафрагма.

В якості приводів для штучного серця досить широко використовуються електромеханічні пристрої. У різних конструкціях вони відрізняються один від одного; найпростіший електромеханічний привід складається з електромоторів постійного струму. Розташовані зовні приводи з'єднуються з камерами виконавчих механізмів за допомогою пластмасових шлангів для підведення газу або рідини до насосів.

Діаметр магістралей, через які проходить газ, залежить від того, який газ використовується в системі. Напр. при застосуванні повітря діаметр магістралі повинен бути не менше 6-7 мм. У тих випадках, коли необхідно підвести електроенергію, використовують дроти, покриті біологічно інертними пластмасами.

В одній з моделей в якості джерела енергії використовується радіоізотопна ампула з плутонієм-238, поміщена в тепловий акумулятор. Двигуном служить двохпоршневіми теплова машина з незалежним приводом на кожен шлуночок І. с. Кров'яний насос є одночасно і теплообмінником, і первинним датчиком для системи регулювання. Загальна вага моделі менше 2 кг, обсяг ок. 1,8 л.

Поряд з технічними питаннями по створенню І. с. великі труднощі представляє проблема вишукування матеріалів для виготовлення вузлів І. с. До них ставляться такі вимоги: висока міцність, відсутність «втоми», здатність зберігати свої фіз.-хім. властивості в організмі людини, володіти біол. інертністю.

При конструюванні штучного використовуються нержавіюча сталь, титанові сплави, полімерні матеріали (фторопласти, поліолефіни), різні сполуки кремнійорганічних каучуків (силікони), поліуретани, полієфірсіліконуретани, піроуглерода, матеріали з тромборезистентність покриттями на основі гідрофільних гелів, поліелектролітних комплексів з негативним поверхневим зарядом і ін. Конструкції із полімерних матеріалів навіть при тривалій роботі дозволяють зменшити небезпеку тромбозу. Однак, незважаючи на це, проблема профілактики тромбозу, який спостерігається як в порожнинах серця, так і в сполучних магістралях і внутріорганих кровоносних судинах, залишається актуальною. У зв'язку з цим проводяться дослідження патогенетичних механізмів тромбоутворення в умовах контакту крові з великою площею полімерної поверхні, великої операційної травми, зумовленої кардіектомією, особливостями штучного кровообігу і травмою формених елементів крові. При цьому наголошується значний викид в кров тканинного і кров'яного тромбопластину, який створює гіперкоагуляційного фон і сприяє активізації тромбообразуючих властивостей крові.

Крім того, велику роль в процесах, що відбуваються на кордоні кров - полімер, грають електрокінетическі явища. Вони пов'язані з тим, що формени елементи і білки крові заряджені негативно. Неизмененная внутрішня оболонка серця і судин також несе негативний заряд. Відштовхування

елементів крові від однойменно зарядженої судинної стінки - важкий фактор, що перешкоджає тромбоутворенню. Наявність позитивного або нульового потенціалу на поверхні полімерного матеріалу, мабуть, одна з причин, що привертають до тромбоутворення.

Лаймен (D. Lyman, 1972), Адат (M. Adachi, 1973) відзначили особливість синтетичних матеріалів типу велюр з нерасеченою петлею або з дуже короткими ворсинками при використанні їх в якості пластичного матеріалу в хірургії серця - здатність затримувати формені елементи крові. При просочуванні кров'ю такої поверхні в петлях велюру або між ворсинками осідають формені елементи і білки крові і через 40-45 днів формується дуже гладка і тонка біол. вистилання, по мікроскопічній будові надзвичайно схожа на ендотелій. Тривалість терміну освіти захисної вистилання на поверхні синтетичних матеріалів значно обмежує можливості використання такого способу профілактики тромбоутворення в І. с. т. к. за цей час не виключається можливість утворення тромбів на поверхні використовуваних полімерних матеріалів.

Важливе місце в розробці займають гідродинамічні дослідження. Головна їх мета - вдосконалення геометрії порожнин, виняток застійних зон, вихрових турбулентних течій, потоків з великими градієнтами швидкостей.

Не менш складне завдання - створення автоматичного управління роботою штучного серця забезпечує кровотік відповідно до потреб організму. Відомо, що серце людини і тварин змінює свою динаміку в дуже широкому діапазоні. Так, у людини в стані спокою вона дорівнює 5,5-6,5 л в 1 хв. і при значній фіз. навантаженні зростає в кілька разів.

У моделі «Диафрагменного типу» система управління заснована на інформації від ємнісного датчика обсягу передсердя. Розробляється система управління, в якій в якості датчика інформації використовується залишається частина живого серця - його передсердя і синусовий вузол, службовці мультипараметричним датчиком в системі управління. Для формування частоти скорочень шлуночків використовують Р-хвильовий електричний кардіостимулятор і перетворювач тривалості систоли

•

Будова штучного серця

Найбільш досконалим з точки зору технічного виконання можна назвати штучне серце на пневмоприводі. Його конструкційні елементи:

1. імплантований насосний пристрій.

Робоча частина механізму, виготовлена з медичних біополімерів. Складається з двох штучних шлуночків. Кожен з них має кров'яну і повітряну камеру.

2. Манжети з штучними клапанами.

Вони необхідні для приєднання штучних камер до передсердь, аорти та легеневого стовбура.

Довга трубка (півтора-два метри), що зв'язує повітряні камери шлуночків з компресорами, що знаходяться за межами тіла пацієнта.

Як працює штучне серце?

1. У повітряні камери шлуночків подається повітря.
 2. Через гнучку мембрану він надходить в кров'яну камеру і штовхає кров в магістральний посудину.
 3. У повітряній камері утворюється вакуум, в результаті чого мембрана втягується всередину.
 4. У кров'яну камеру з передсердя надходить кров.
- Весь процес регулюється приводом штучного серця.

Будова штучного серця *Carmat*

Воно складається з двох шлуночкових камер та чотирьох біологічних клапанів. Протез не тільки нагадує серце людини, але й функціонує так само.

У конструкції серця дві камери розділені мембраною, яка утримує гідравлічну рідину з одного боку. Моторизований насос переміщує гідравлічну рідину всередину та з камер, і ця рідина змушує мембрану рухатися; кров тече через іншу сторону кожної мембрани.

Серцебиття створюється активаторною рідиною, яку пацієнт носить в ємності, а серце накачується за допомогою мікронасосів у відповідь на потреби пацієнта, які датчики та мікропроцесори визначають на самому серці. Два відділення з'єднують штучне серце з аортою, яка є головною артерією тіла, а також легеневою артерією, що несе кров до легень для її окиснення.

Кривава сторона мембрани зроблена з тканини, отриманої з мішка, що оточує серце корови, щоб зробити пристрій більш біосумісним. Серце *Carmat* також використовує клапани з тканини серця корів і має датчики для виявлення підвищеного тиску всередині пристрою. Ця інформація надсилається до системи внутрішнього контролю, яка може регулювати швидкість потоку у відповідь на підвищений попит, наприклад, коли пацієнт виконує фізичні вправи. Це відрізняє його від попередніх конструкцій, які підтримували постійну швидкість потоку.

На відміну від попередніх конструкцій, пристрій *Carmat* призначений для використання у випадках серцевої недостатності, замість того, щоб використовуватись як мостоподібний пристрій, поки пацієнт чекає на трансплантацію. При вазі 900 грам воно важить майже в три рази більше типового серця і орієнтоване в першу чергу на чоловіків з ожирінням. Також пацієнту потрібно мати з собою додаткову літій-іонну батарею. Прогнозована тривалість життя штучного серця становить близько 5 років (230 млн. ударів).

Штучне серце *Aeson* складається з кількох частин:

1. Моторно-насосний блок, що складається з двох мікронасосів, які штовхають виконавчу рідину до мембран і генерують систолу та діастолу.
2. Шлуночкові камери, розділені мембраною на дві частини, одна для крові, інша для виконавчої рідини. Шар цієї мембрани, що контактує з кров'ю, виготовлений із біосумісних матеріалів.
3. Вбудована електроніка, мікропроцесори та інтегровані датчики дозволяють саморегульовно реагувати на фізіологічні потреби пацієнта.

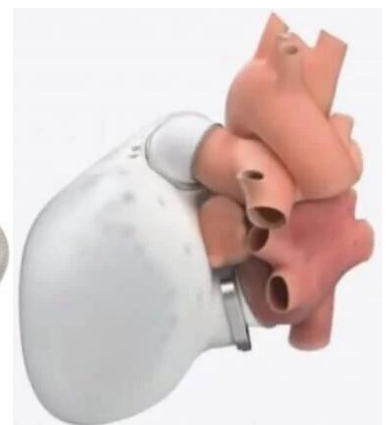
4. Гнучка зовнішня кишеня утримує рідину приводу.
5. Чотири біологічні клапани на вході та виході забезпечують однонаправлений пульсуючий потік крові.
6. Два вихідні кондуїти, що з'єднують протез з легеневою артерією та аортою.
7. Перкутанна передача, що сполучає протез із зовнішніми компонентами.

У 2016 році Національне агентство з безпеки та медицини в Європі заборонило випробування *повністю штучного серця* після підтвердження коротких показників виживання. Заборона була скасована в травні 2017 року. Тоді в європейському звіті було зазначено, що клітинна терапія Celyad's C-Sure для ішемічної серцевої недостатності *«може допомогти лише субпопуляції учасників дослідження III фази, і Carmat буде сподіватися, що її штучне серце зможе лікувати більшу частку пацієнтів із серцевою недостатністю»*.

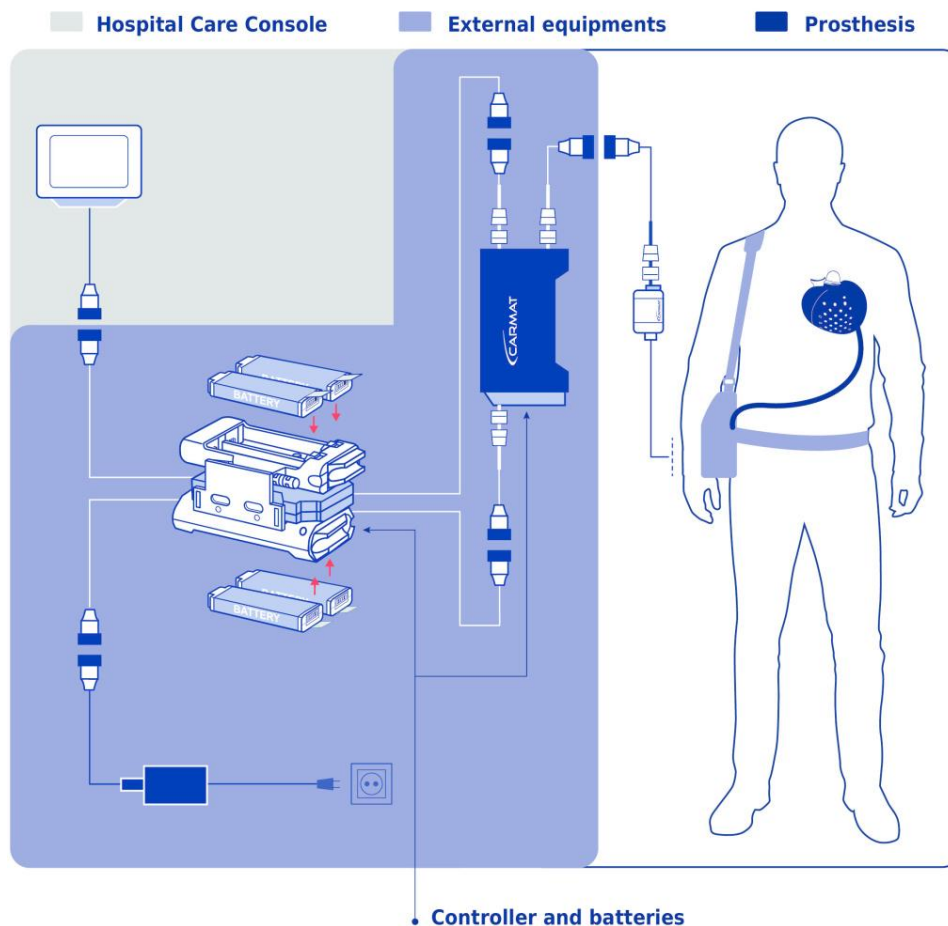
Штучне серце, створене французькою компанією Carmat, було імплантоване пацієнтові в Італії в очікуванні донорського органу. Для цієї операції компанія вперше продала розроблене нею штучне серце під брендом «Есон» (Aeson). Вартість операції (150 тисяч євро) була оплачена регіональною системою охорони здоров'я. Штучне серце Aeson створене для пацієнтів, які мають термінальну бівентрикулярну серцеву недостатність. Воно може працювати кілька місяців в очікуванні трансплантації живого органу.

В останні роки операції з пересадки штучного серця були проведені також у Данії, Чехії та Казахстані.

Штучне серце *Carmat* було схвалено для продажу в Європейському Союзі, отримавши маркування CE 22 грудня 2020 року. Ціна його акцій зросла більш, ніж на третину після оголошення цієї новини.



Штучне серце компанії «Carmat» Aeson



В 2021 р. компанія Carmat випустила його нову версію. Вона оснащена біологічними клапанами, завдяки яким у людини з меншою часткою ймовірності виникають ускладнення, а сам апарат працює набагато тихіше.

Особливості штучного серця

Важливо відзначити, що штучне серце будь-якого виробника не може замінити собою справжнє. Воно лише дає час для того, щоб дочекатися донорського органу. Крім обмеженого часу служби довжиною 180 днів, у штучного серця є ще один мінус — людина змушена носити з собою 4-кілограмовий ящик з рідиною для його правильної роботи. Також в зовнішньому модулі розташовані дві акумуляторні батареї, яких вистачає на 4 години автономної роботи. Раніше хірурги встановлювали пацієнтам штучні серця SynCardia з чотирма механічними клапанами. Головне нововведення новинки від Carmat полягає в тому, що в ньому використовуються біологічні клапани. Завдяки натуральним матеріалам, у пацієнта знижується ризик виникнення тромбів, а пристрій працює набагато тихіше, ніж аналоги.

Операція по установці штучного серця проходить в кілька етапів. Спочатку в грудну клітку пацієнта вставляється серцевий протез, який за допомогою кабелю підключений до зовнішнього модуля. Протез складається зі згаданих вище камер і чотирьох біологічних клапанів, завдяки яким і працює як справжнє серце. Також орган з'єднується з головною артерією тіла

аортою і легеневою артерією. Для руху крові використовуються помпи, які в залежності від потреб людини можуть качати кров з різною силою. А для визначення потреб використовуються датчики, які кріпляться на тіло пацієнта.

Вчені розробили швидкодіючий цифровий процесор - «мозок», керуючий штучним органом. У частки мікросекунди система розпізнає зміни в роботі механічного приладу і перезапускає його роботу заново. Але повністю довірити роботу таким процесорам поки не дозволено. Людина сама може задавати ритм і частоту биття (обертання двигуна) штучного серця шляхом перемикання кнопок на зовнішньому носії, до якого він підключений.

Повністю програмований механічне серце, як обіцяють, вчені ще в перспективі, на сьогоднішній день є напрацювання, які ще вимагають вивчення. Всі моделі штучних сердець і нові технології повинні проходити великомасштабні випробування. Першими випробувачами штучних сердець зазвичай стають однорічні телята або свині. Їх серця найбільш близькі до людських за розміром, і перекачують приблизно однакові обсяги крові.

Мінуси штучного приладу

Незважаючи на великі переваги, які дарує штучне серце, у пацієнтів можуть виникати такі ускладнення:

- **Тромбози.** Ризик інсультів у таких пацієнтів високий, оскільки обертові турбіни двигуна ушкоджують формені елементи крові, а пошкоджені тромбоцити мають велику здатність до склеювання і осідання. Також сам насос, будучи чужорідним тілом, провокує тромбоутворення. Останнім часом на внутрішню поверхню насоса і турбін наносять алмазну наноплівку, вона потрібна для профілактики тромбоутворення, оскільки саме тромбози були головним ускладненням після імплантації штучних деталей механічного серця.

- **Висхідна інфекція.** Часто саме інфекція служить причиною летального результату пацієнтів зі штучним серцем. Ворота інфекції - кабель, одним кінцем приєднаний до зовнішнього процесору, а другим до штучного вживлені в серці механічному пристрою.

Вчені намагаються зробити штучне серце людини повністю автономним, без зовнішніх акумуляторів, тоді б багато ризиків і ускладнення знизилася б у багато разів.

Штучний шлуночок

На допомогу пошкодженим хворобою, нездатним справлятися з перекачуванням крові по організму шлуночків серця, вчені створили штучний шлуночок. Це механічний пристрій, насос, що полегшує перекачування крові. Ці механізми можуть бути розташовані як зовні, так і всередині органу. Перші моделі штучних шлуночків серця були виготовлені в Америці. На перших механічних моделях шлуночки замінювали два

пластикових мішечка, а роботи серцевих клапанів виконували пластикові мембрани, виготовлялися деталі в основному з поліхлорвінілу.

Механізм працював від величезної пневматичної машини, вона була надзвичайно гучною, а також виглядала дуже громіздко, пацієнт з таким імплантованим пристроєм міг жити лише в умовах стаціонару. У даній моделі було багато недоліків. В кінці 90-х років з'явилися вдосконалені мініатюрні електричні турбіни. Дані турбіни мають велику схожість з двигунами від літаків, вони здатні перекачувати кров десятиліттями. Насос з турбіною важить приблизно 200-250 грам, його габарити 10-15 см.



• **Схема роботи штучного шлуночка**

Виглядає він куди менше людського кулака. Даний прилад приєднаний до керуючого блоку, процесору з акумулятором виглядає вона як сумка, яка прикріплюється на пояс людині. Акумулятор необхідно перезаряджати через кілька годин. Людина за допомогою цього блоку здатний регулювати роботу штучного шлуночка, уповільнювати або прискорювати обертання турбін. Від процесора відходить кабель, йде через шкірні покриви безпосередньо до штучного шлуночка.

Показаннями для використання даних турбін частіше виникають при відмові в роботі рідного лівого шлуночка серця. Саме він швидше за всіх «зношується» при серцевій недостатності. Турбіна містить електродвигун або осьовий насос, який і здійснює перекачування крові. Осьові насоси для штучного апарату легкі, мають малі розміри, споживають мінімум енергії. Насос створює не пульсує, а постійний струм крові.

Тому у людей з вживлені механічним шлуночком немає пульсу. Але відсутність пульсової хвилі ніяк не позначається на якості життя. Електричний лівий шлуночок може працювати паралельно з рідним серцем, полегшуючи роботу останнього. На сьогоднішній день штучні шлуночки успішно впроваджені і працюють в тілах кількох тисяч пацієнтів по земній кулі, вони дозволяють людям ходити, водити автомобіль, вести повноцінний спосіб життя, нехай і з деякими обмеженнями.

Інші розробки штучного серця

Механічне серце Berlin Heart

Механічне серце Berlin Heart – це турбіна, укладена в титановий корпус. Прилад забезпечує циркуляцію крові в організмі пацієнта. Усередині корпусу в магнітному полі обертається маленький «ніж від м'ясорубки». Гвинт не торкається стінок корпусу, щоб не травмувати клітини крові.

Швидкість обертання гвинта – до 10 тисяч обертів на хвилину; кількість крові, яке він може прогнати через корпус – до 5 літрів за хвилину. Це цілком відповідає обсягу циркуляції крові у дорослої людини. Залежно від швидкості припливу крові і опору на виході, турбіна регулює себе сама.

Акумулятори і блок управління знаходяться в п'ятикілограмовій сумці, яку пацієнт повинен носити з собою. Прилад приймає показники датчиків усередині корпусу і самостійно регулює швидкість руху турбіни. Механічне серце потрібно регулярно заряджати: в автономному режимі воно працює 10 годин.

Якщо в крові утворюються дрібні тромби, які гальмують роботу механізму, запускається режим очищення турбіни. Також у пацієнта є можливість регулювати швидкість турбіни вручну, забезпечуючи необхідний кровотік в залежності від ваги, фізичного навантаження і енерговитрат.

Насправді цей прилад не замінює серце повністю – він лише асистує лівому шлуночку. Лівий шлуночок при цьому нікуди не прибирається. Він залишається на місці, але одна частина турбіни приєднується до його верхівки, а друга через силіконовий конектор підключається до аорти і робить лівошлуночковий обхід. При цьому правий шлуночок працює сам по собі, як і раніше.

При належному догляді і контролі згортання крові прилад може працювати кілька років. Рекордсмен з механічним серцем Berlin Heart живе в Німеччині вже 9 років.

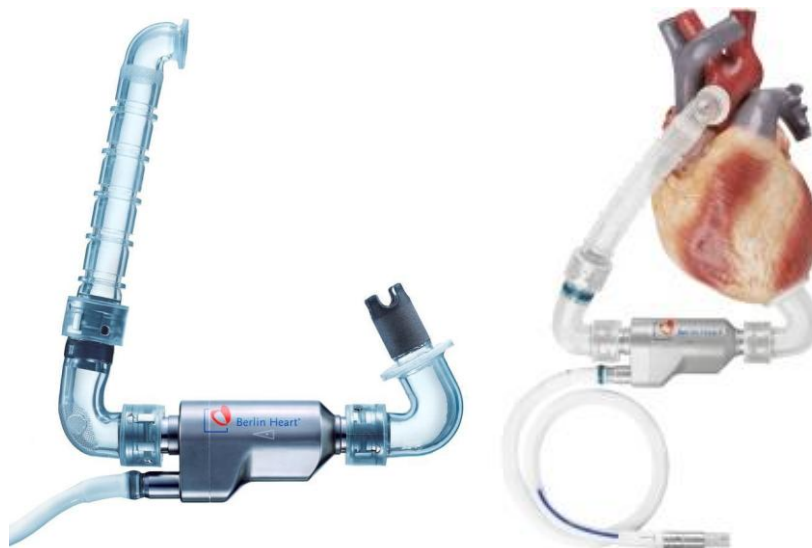
Люди з механічним серцем повинні уникати інтенсивних фізичних навантажень. Також не можна плавати в озері або річці, бо з організму через шкіру виходить кабель живлення і управління. Це місце – ворота для інфекції, і його потрібно постійно обробляти антисептиком.

При цьому пацієнти можуть водити машину і займатися спортом. Серед володарів приладу є навіть атлети, які займають призові місця. Таким чином, обмеження досить умовні, і залежать від загального стану організму.

У Німеччині (батьківщині Berlin Heart) штучне серце носять 1,5-2 роки. Саме стільки реципієнту потрібно для того, щоб підібрати донора. Механічне серце – це міст для трансплантації тим людям, які ще не дочекалися донорського серця, але вже не можуть жити зі своїм власним.

Обидва українські пацієнта (Павло Дорошко і Людмила Філяренко) отримали механічні серця Berlin Heart «в кредит», під чесне слово волонтерів та фахівців Інституту серця МОЗ України. Вартість одного такого пристрою – 118 тисяч євро. Борг за серця ще не виплачений. Він становить 40 і 80 тисяч

євро відповідно. Збором коштів займається благодійний фонд «Серце на долоні».



Штучне серце компанії Berlin Heart

Механічний насос для перекачування крові симулює роботу серця у пацієнтів із серцевою недостатністю

Насоси для перекачування крові EXCOR® є ключовою категорією продукції компанії. У пацієнтів із серцевою недостатністю цей двокамерний насос виконує функцію серця. Він встановлюється на тілі пацієнта та з'єднується за допомогою канюлів із серцем та судинами. Пневмопривід створює тиск і вакуум, які рухають тришарову мембрану, що розділяє насос для перекачування крові на дві камери, за рахунок чого забезпечується кровотік.

Штучне серце HeartWare HVAD®



Система HVAD® (HEARTWARE HVAD SYSTEM) призначена для використання пацієнтами, для яких існує ризик смерті від рефрактерної серцевої недостатності в термінальній стадії (для підтримки ослабленого лівого шлуночка, що погано функціонує). Система HVAD® призначена для використання в лікарні та поза її межами, зокрема під час транспортування в літаках із крилом незмінної геометрії або гелікоптерах.

Штучне серце AbioCor

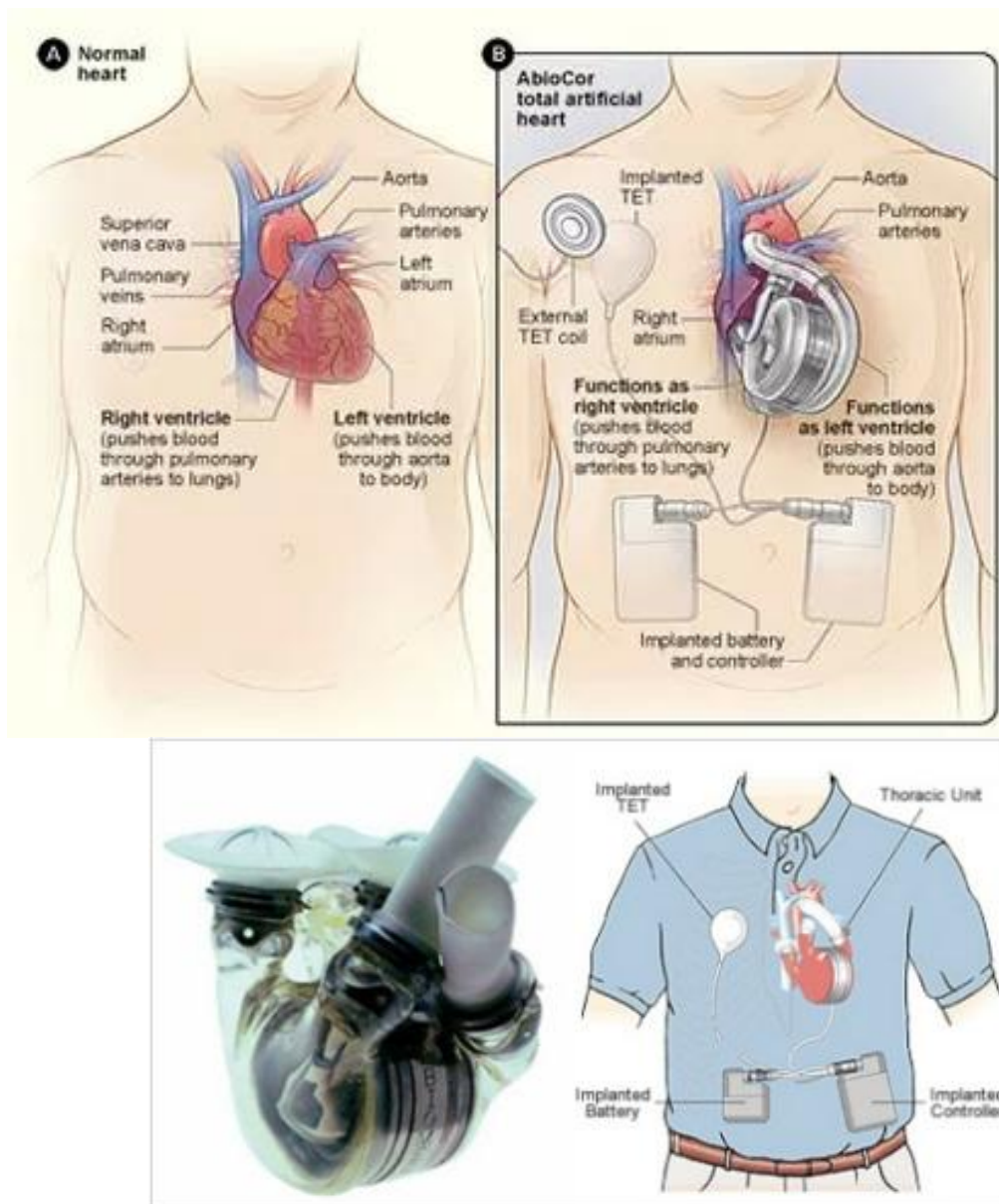
Повністю штучне серце (total artificial heart -ТАН) – це пристрій, що заміщає дві нижні камери органу - шлуночки. Його застосовують на термінальній стадії серцевої недостатності.

Пристрій кріпиться до верхніх камерам органу - предсердям. Між серцем і передсердями знаходяться механічні клапани, які функціонують як клапани серця, керуючи потоком крові, що проходить через орган.



ТАН повністю розташовується всередині грудної клітини. Батарея живлення поміщена всередину серця, вона заряджається через шкіру за допомогою спеціального магнітного пристрою. Енергія від зовнішнього зарядного пристрою досягає внутрішньої батареї за допомогою системи черешкірного перенесення енергії (ТЕТ).

Імплантований пристрій ТЕТ підключається до батареї. Зовнішній елемент ТЕТ з'єднаний із зовнішнім зарядним пристроєм. Імплантований контролер відстежує і координує швидкість течії крові.



Штучне серце Cardio West

Система «Cardio West» являє собою повністю штучне серце що використовується в клінічній практиці в якості механічного «моста» до ТЗ у пацієнтів з термінальною стадією бівентрікулярної серцевої недостатності. «Cardio West» імплантується в порожнину перикарда і ортопедично повністю замінює власні шлуночки і весь клапанний апарат рідного серця пацієнта. Це дозволяє уникнути ряду проблем, з якими можна зіткнутися при імплантації інших моделей систем допоміжного кровообігу, а саме правошлуночкової СН (при імплантації ізольованого лівого штучного шлуночка), недостатності на аортальному клапані і клапані легеневої артерії, аритмії і тромбоутворення всередині порожнин нативного серця.



Штучне серце SynCardia

Девайс, що важить 6 кг, по суті, являє собою насос. Є в ньому, звичайно, і мінус - доводиться тягати за собою немаленьких розмірів рюкзак.

Це перше портативне штучне серце, яке здатне повністю замінити собою людське. Раніше подібні пристрої були або стаціонарними, або просто рятували в разі часткової відмови органу, як імплантуючі дефібрилятори.



Сучасні апарати, які замінюють серце, багато в чому недосконалі, тому вчені працюють над винайденням більш довершеного замінника справжнього серця. В рамках таких досліджень вчені з Цюріху розробили прототип серця з м'якого силікону і роздрукували його на 3D принтері.

Силіконове серце має такий самий розмір як і справжні, а важить 390 г. Будова серця теж у всьому повторює справжній орган: він має правий і лівий шлуночки, камеру, що слугує м'язом для перекачування крові.

Під час тестування вчені використовували рідину з аналогічною в'язкістю для людської крові. Рідина перекачувалась штучним серцем таким же чином, як і справжнім. Проте є суттєвий недолік силіконового серця – воно витримує близько 3000 ударів, що еквівалентно приблизно 30-45 хвилинам роботи.

Проте навіть штучне серце з таким недоліком в функціонуванні показало вченим шляхи для руху задля спасіння тисяч людей, які потребують пересадки цього органу.

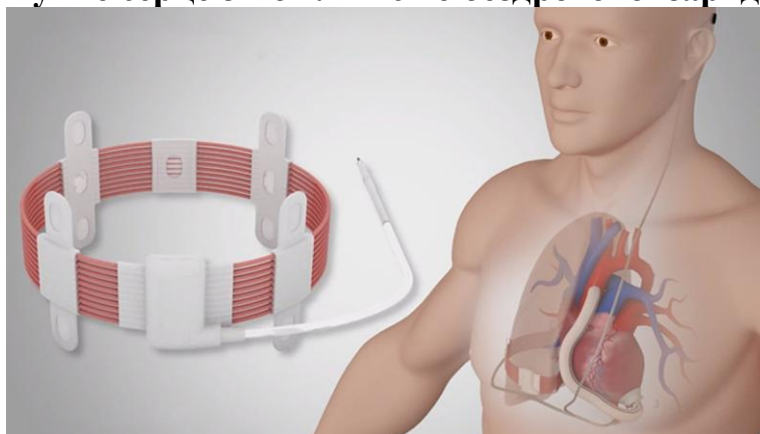
Серце було створено за допомогою друкування на 3D-принтері, що дозволило розробникам зробити більш складну внутрішню структуру, проте, використовуючи м'який і гнучкий матеріал.

Перекачування рідини і скорочення у штучному органі забезпечуються повітряними насосами.



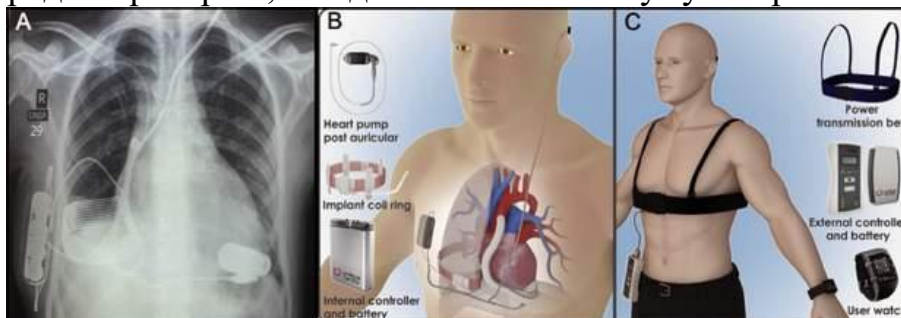
Таке м'яке серце поки що не призначене для реальної імплантації людині, адже, як виявилось, при справжніх умовах роботи органу воно витримує не більше 30 хвилин.

Штучне серце з можливістю бездротової зарядки



Науковцям вперше вдалося вживити в груди 24-річного чоловіка з Казахстану, який страждає на серцеву недостатність останньої стадії, пристрій, який заряджається бездротовим способом.

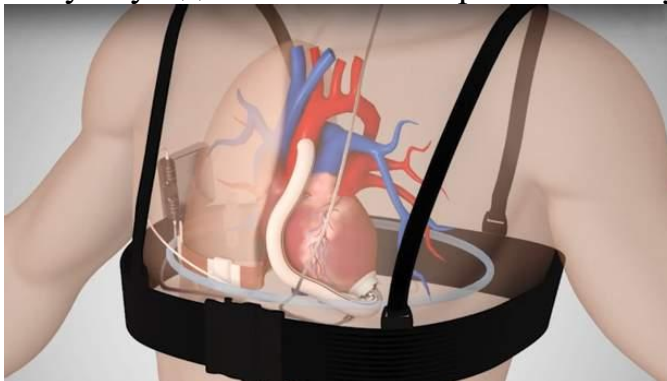
Зазвичай VAD заряджається через шнур живлення, який підключений до пристрою і виходить з отвору в черевній порожнині пацієнта. Провід підключається або безпосередньо до електричної розетки для зарядки пристрою, або до зовнішнього акумулятора.



Пацієнтам з традиційними VAD необхідно постійно носити з собою. Запасні батареї на випадок збою або розрядки пристрою. Щоб замінити акумулятор у них є 15 хвилин. До того ж, отвір, через який проходить шнур живлення, є сприятливим до появи інфекцій.

А от **бездротовий VAD не потребує шнура живлення** завдяки системі зарядки. Вона складається з індуктивної котушки приймача, акумулятора внутрішнього контролера, які імплантовані в груди пацієнта.

Один заряд пристрою може працювати **протягом 8 годин**, а щоб його зарядити, необхідно надіти жилет, який містить зовнішню котушку, яка заряджає внутрішню котушку з допомогою електромагнетизму.



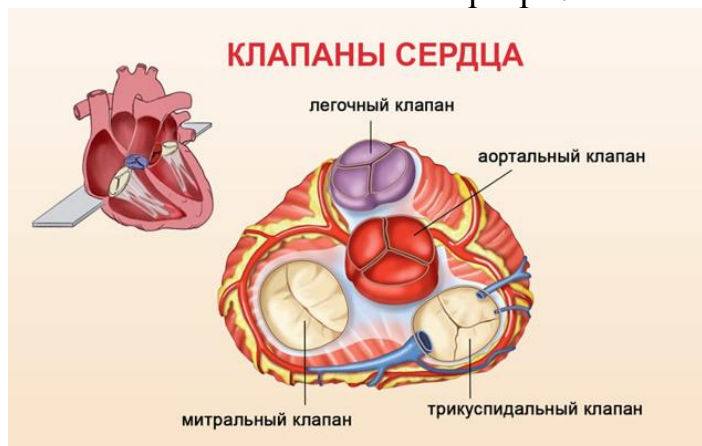
Один заряд пристрою може працювати протягом 8 годин

Щоб відстежити рівень батареї є **монітор** на зап'ясті. При розрядці або серйозних несправності спрацьовує внутрішній вібраційна сигналізація. На випадок якщо щось піде не так з бездротовою системою зарядки, передбачена опція резервного живлення традиційним способом

Штучні клапани серця

Клапани серця — структури в серці, що забезпечують тік крові в одному напрямку. У відповідний момент вони відкриваються або закриваються, пропускаючи кров або ставлячи їй заслін. При скороченні передсердя стулчасті клапани відкриті, а серпасті — закриті. При скороченні шлуночка — навпаки.

Серце людини має такі клапани: мітральний клапан, трикуспідальний клапан, аортальний клапан та клапан легеневої артерії.



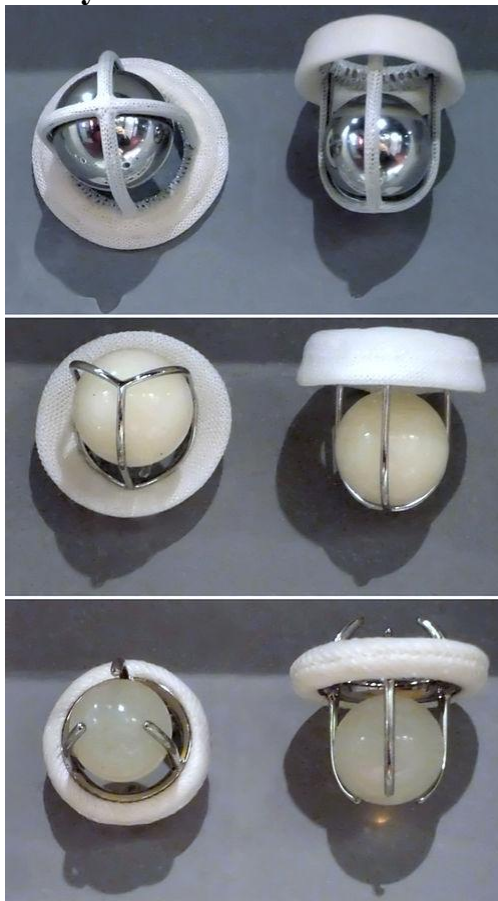
Клапани — це невід'ємна частина нормального фізіологічного функціонування серця людини, яка забезпечує циркуляцію крові по колу кровообігу строго в певному напрямі. Таким чином, природні клапани серця розвиваються в форми, які функціонально підтримують односпрямований потік крові з однієї камери серця в іншу.

Штучний клапан серця — це пристрій для імплантації в серце пацієнта із захворюваннями серцевих клапанів.

При захворюванні або дисфункції, що виникла внаслідок будь-якої вади розвитку одного з чотирьох клапанів серця з метою відновлення його працездатності може бути проведена заміна природного клапана на його протез. Як правило, це потребує оперативного втручання на відкритому серці.

Серед штучних клапанів серця виділяються механічні та біологічні конструкції.

Штучні механічні клапани серця



Штучні механічні кульові клапани серця

Зроблені з пластику, вуглецю, металів.

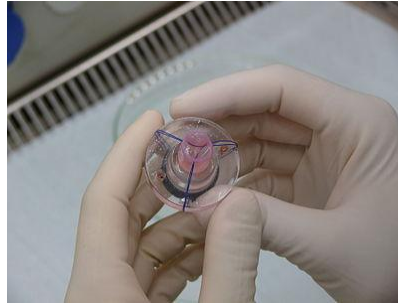
Відрізняються високою міцністю, гарантія роботи – 15-20 років.

Рекомендуються пацієнтам молодого віку.

Збільшують ризик тромбоутворення.

В післяопераційному періоді вимагають довічного прийому антикоагулянтів.

Пелюстковий клапан



Штучний пелюстковий клапан серця своєю конструкцією найбільшою мірою імітує будову природних клапанів серця, але використовуються значно рідше протезів інших типів. Це пов'язано з тим, що застарілі конструкції пелюсткових клапанів не використовуються через значно більшу ймовірність ускладнень, в тому числі повного руйнування клапана. Ризик виникнення ускладнень після імплантації сучасних пелюсткових клапанів значно нижче, але складність їх конструкції і необхідність використання дорогих матеріалів при виготовленні, роблять їх значно дорожче інших конструкцій протезів.

Осесиметричні клапани

Відомі три групи осесиметричних штучних механічних протезів клапанів серця вентильного типу^[1]:

1. клапани з поступальним рухом замикаючого елемента (кульові, полушаровые, чечевицеподібні та інші),
2. поворотно-дискові та
3. двостулкові.

Всі протези цього типу мають однаковий принцип роботи і склад структурних елементів: замикаючий елемент, обмежувач руху цього елемента, а також пришивну манжету для фіксації протеза на біологічних тканинах. Замикаючий елемент пасивно переміщається, в залежності від зміни тиску в серцевих камерах протягом серцевого циклу. Коли тиск перед клапаном перевищує тиск в порожнині серця, яка розташовується за ним, замикаючий елемент відкривається, і кров вільно протікає через клапан. Зниження тиску перед клапаном сприяє переміщенню замикаючого елемента, який перекриває отвір клапана, тим самим запобігає регургітації (зворотного забросу) крові.

Клапани з поступальним рухом замикаючого елемента



Зліва — кульовий протез клапана серця; праворуч — малогабаритний протез клапана серця

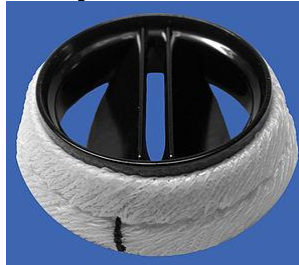
Поворотно-дисковий протез клапана серця



Відмінною рисою поворотно-дискових протезів стала конструкція замикаючого елемента у вигляді диска, який шарнірно закріплений в циліндричному корпусі протеза, з можливістю обертання диска навколо осі, розташованої в площині корпусу.

Завдяки хорошим гідродинамічним властивостям, низькопрофільності і зносостійкості, вони були найбільш затребувані в клінічній практиці протягом 1970 — 1980 років, а найкращі зарубіжні та вітчизняні моделі протезів цієї конструкції успішно застосовуються і в наші дні.

Двостулковий клапан



Відмінною рисою двостулкових протезів клапанів серця стала конструкція замикаючого елемента у вигляді двох симетрично розташованих напівокруглих стулок, кріплення яких з каркасом протеза здійснюється за допомогою шарнірного з'єднання. На даний час двостулкові протези є найбільш популярними в кардіохірургії.

Біологічні клапани

Біологічні клапани серця робляться з тканин тваринного походження. Серед біопротезів популярністю користуються клапани, створені на основі свинячих клапанів серця або створені з бичачого перикарду. Імплантують як біологічний мітральний клапан, так і біологічні аортальні клапани.

Біопротези бувають каркасними та безкаркасними. У каркасних є рама з пластику або металу, на якій тримається біологічний матеріал. Безкаркасні максимально схожі на природні клапани людського серця.

Особливість біопротезів в тому, що при їх застосуванні знижується ризик виникнення тромбоемболії. Але це більшою мірою справедливо для біологічного мітрального клапана. Якщо ж пересаджують біологічні аортальні клапани, різниця з механічними щодо ймовірності тромбоутворення незначна.

Являють собою ксено – і алотрансплантату.

Щодо недовговічності, вимагають заміни через 8-12 років.

Доцільно імплантувати людям старших вікових груп, з ризиком виникнення тромбів, алергією на антикоагулянти.

Не має потреби призначення противотромботическое препаратів.



Биологический клапан



Механический клапан

протезы клапанов сердца



биологические

- срок службы 8-10 лет
- не провоцируют тромбозов



механические

- срок службы более 20 лет
- требуют приема антикоагулянтов

За рахунок використання натуральних еластичних тканин біологічні протези забезпечують більш м'який потік крові і не призводять до утворення тромбів. Крім цього, не дивлячись на те що їх термін служби менше, ніж у механічних, виходять з ладу вони поступово, тому операцію по заміні клапана можна проводити планово.

Основна проблема таких клапанів — кальцифікація, відкладення кальцію на еластичних натуральних елементах. Саме вона і є головною причиною зносу протеза. Тому сучасні дослідження пов'язані з поліпшенням обробки використовуваних в імплантаті тканин, яка допомагає зменшити відкладення кальцію. Одну з перспективних розробок недавно представив Новосибірський Національний медичний дослідний центр ім. академіка О. М. Мешалкіна. Лікарям вдалося створити протез з особливим розрізом і відсутністю швів, крім цього, біотканини оброблялася за новою технологією

із застосуванням препаратів бісфосфонатів. Це дозволило істотно зменшити кальцифікацію. Такі клапани планується застосовувати в дитячій кардіохірургії — довговічність допоможе скоротити число операцій по заміні клапанів протягом життя пацієнта.

До **плюсів механічних протезів** можна віднести довговічність. Такий імплант встановлюється на все життя. Головний **мінус механічного протеза** — підвищений ризик утворення тромбів. Людям зі штучним механічним імплантом довічно необхідно пити антикоагулянти, що може стати причиною появи кровотеч.

При використанні біологічних протезів клапанів ризик виникнення тромбоемболії набагато нижче. Але у цих імплантів є свій мінус — недовговічність. Згодом у біологічних протезів клапанів розвивається стеноз, ознаки якого можуть з'явитися через 8-10 років.

То який же клапан краще механічний або біологічний? Відповісти на це питання може кваліфікований фахівець. Після того як він ознайомиться з вашою історією хвороби та врахує всі особливості вашого стану, він зможе визначити, який протез буде краще саме в вашому випадку.

На вибір клапана впливає ряд факторів: вік, стан серця, наявність інших захворювань та багато іншого. Все це враховується, коли лікар разом з пацієнтом роблять вибір протеза.

Протипоказання до операції

Заміна серцевого клапана може виконуватися не всім пацієнтам. Вона протипоказана в наступних випадках:

- Наявність серцевої недостатності, що протікає у важкій формі.
 - Тромбування судин.
 - Сильна деформація відразу декількох клапанів.
 - Інфекційний ендокардит (при цьому захворюванні вражається внутрішня оболонка міокарда) або інші інфекційні захворювання в гострій формі.
 - Ревматизм у важкій формі на стадії загострення.
 - Загострення таких хронічних захворювань, як цукровий діабет або бронхіальна астма.
 - Порушення в гострій формі мозкового кровообігу.
 - Інфаркт міокарда.
 - Такі інфекційні захворювання, як гайморит, пієлонефрит, холецистит можуть бути перешкодою до заміни клапана. Однак після санації вогнищ інфекції проведення операції, швидше за все, стане можливим.
 - Захворювання легень, нирок, печінки на стадії декомпенсації.
- Пацієнт може не витримати навантаження на організм унаслідок застосування загального наркозу та апарату штучного кровообігу.

Показання до проведення операції:

1. Неможливість проведення комиссуротомії. Дана операція застосовується для видалення спайок (ущільнень) між пелюстками клапана. З її допомогою можна вилікувати не тільки придбане, а й вроджене захворювання клапана. У деяких випадках комиссуротомія не проводиться через індивідуальних особливостей організму пацієнта.

2. Зморщування сухожильних ниток або стулок клапана. Подібні зміни можуть бути викликані ревмокардитом — патологією, яка є ускладненням після стрептококової інфекції. Захворювання вражає всі серцеві оболонки, а також ЦНС.

3. Міокардіофіброз. Патологічний процес, при якому на стулках клапана утворюється істотний шар сполучної тканини. Як правило, є ускладненням після запальних кардіологічних патологій.

4. Звапіння або ж кальциноз. Хвороба, яка веде до накопичення солей (кальцію) на стулках клапана. Основні причини розвитку патології: серцевий ревматизм, порушений обмін речовин і гормональні збої. Деяким пацієнтам схильність до появи хвороби передається генетичним шляхом. Кальциноз 3 ступеня вимагає обов'язкового хірургічного втручання.

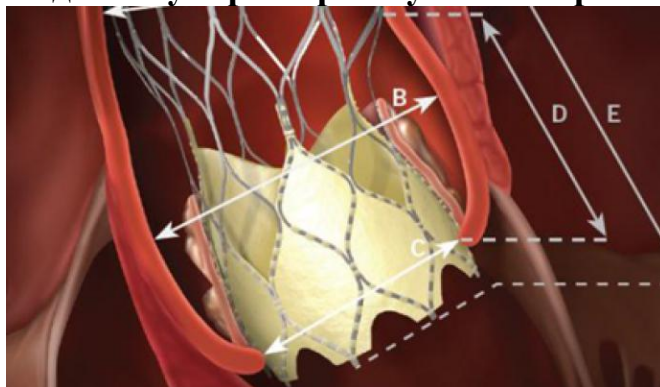
Заміна клапана на серці і протезування показані при виявленні: вродженою чи набутою серцевої патології, вади серця; постінфарктної патології, аневризми; пролапсу, стенозу або недостатності; атеросклеротичного ураження; захворювання ревматичного етіології; атрезії клапана; інфекційного ендокардиту та септичного ураження; фіброзних рубців або спайок на стулках; кальциноза і ущільнення. Клінічні ознаки, що свідчать про необхідність операції: зниження толерантності до фізичних навантажень; виникнення задишки, неможливість спати в горизонтальному положенні, поява вологих хрипів в нижніх відділах легких (внаслідок підвищення тиску в малому колі кровообігу); візуалізація на ультразвуковому дослідженні тромбів в порожнинах серця; розширення порожнин серця на ехокардіографії (ліве передсердя понад 40 мм); виникнення аритмій (екстрасистоля, блокади).

Протез може бути аортального або мітрального типу, в залежності від того, який саме клапан необхідно замінити. При цьому всі клапани для протезування умовно поділяються на 2 групи: біологічну і механічну.

характеристика	біологічні	механічні
Ризик утворення тромбів	Відсутнє	присутній
Вікова група	Встановлюються літнім людям (старше 60-65 років)	Практично ніколи не встановлюються пенсіонерам, тільки молодим пацієнтам
Необхідність регулярно приймати препарати-антикоагулянти після операції	немає	Є (з метою зниження ризику утворення тромбів)
довговічність	Низька (від 8 до 15 років в	Висока (від 15 до 20 років в

	середньому)	середньому)
Кому встановлюють?	Пацієнтам з підвищеним ризиком утворення тромбів, а також людям з алергією на антикоагулянти	Пацієнтам, які страждають від інфекційного ендокардиту

Ендоваскулярне протезування аортального клапана



Схематичне зображення ендоваскулярного протеза аортального клапана Portico™ Transcatheter Aortic Valve System на місці імплантації

Ендоваскулярне протезування аортального клапана - сучасна процедура, що дозволяє провести лікування аортальної вади без важкої операції зі штучним кровообігом. Протез клапана доставляється до місця імплантації через ендоваскулярний катетер, як і в [інших операціях, які виконуються у нашому відділенні](#). Ендоваскулярна операція переноситься пацієнтом набагато легше за звичайну, тому може бути показана навіть важким хворим, що могли б не перенести відкриту хірургію. Істотним недоліком методу є висока ціна ендоваскулярного протезу, через що досі в Україні, в тому числі в НІССХ імені М.М. Амосова, були проведені тільки одиничні операції.

18 грудня 2018 року в ДУ "НІССХ імені М.М. Амосова НАМН України" за підтримки фірми-виробника Abbott вперше в Україні будуть проведені операції ендоваскулярного протезування аортального клапана системою Portico™ Transcatheter Aortic Valve System. У зв'язку з цією подією в Інституті пройде науково-практична конференція. У програмі конференції: доповіді проктора Janusz Kochman з Warsaw University Hospital та представника фірми-виробника, пряма трансляція з рентген-операційної в актовий зал Інституту та наукові дискусії.



Протез аортального клапана Portico™ і розкриття протеза при зтягуванні системи доставки