

БОКС ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ДОНОРСЬКОГО СЕРЦЯ

Овчаренко Г.Р., ст. викл.

ilikanet@ukr.net

Лисенко Н.В., студентка

natalisha1810@gmail.com

Кафедра біомедичної інженерії
Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”

Київ, Україна

Реферат – Трансплантація серця залишається золотим стандартом лікування серцевої недостатності в термінальній стадії. Однак близько 40% смертей в перші 30 днів після трансплантації серця настає через неспроможність первинного трансплантата. Такі органи як серце, легені, нирки, печінка, селезінка чутливі до дії низьких температур і ішемії, тому потребують гіпотермічної консервації та додаткових заходів захисту від гіпотермії навіть при охолодженні до температури 4-5°C. Одним з обмежуючих факторів максимального використання донорського серця є відстань між донорською лікарнею і лікарнею-реципієнтом. В сучасних приладах для транспортування донорського серця важливу роль відіграє стабільність температури під час транспортування, що збільшує безпечний час вилучення, і зменшує частоту первинної недостатності трансплантата. Тому актуальною є модернізація існуючого пристрою, завдяки розробці електричної схеми контролю температури, що позбавить від можливих похибок під час транспортування.

У даній роботі представлено розроблені принципові електричні схеми терморегулятору та наведено розробки боксу для перевезення донорського серця у середовищі SolidWorks.

Ключові слова: збереження органів, трансплантація серця, трансплантація нирки.

I. ВСТУП

Успішне збереження органів є важливою складовою трансплантації та забезпечує підтримку життєздатності органів до імплантації реципієнту. В даний час збереження серця для трансплантації обмежується 4-6 годинами холодного ішемічного зберігання, на відміну від збереження печінки, нирок та підшлункової залози, які успішно зберігаються протягом 24-36 годин, хоча функція трансплантата може бути тимчасово порушена.

Після вилучення органу ішемія є безпосередньою причиною травми. Ішемія ініціює складний процес пошкодження, який характеризується втратою високоенергетичних фосфатів, накопиченням внутрішньоклітинного інозину та гіпоксантину, припиненням роботи насоса N^+-K^+ з наступним набуханням клітин, підвищенням цитозольного кальцію.

Загалом нижчі температури органів (від 0°C до 4°C) ефективніше підтримують фосфати з високою енергією. Однак температури нижче 2°C суттєво збільшують ризик пошкодження холодом, оскільки деякі білки денатурують нижче 0°C. При більш високих температурах (від 8°C до 12°C) функція органів зберігається більшою мірою.

Однак при температурах вище 12°C більша метаболічна потреба в кисні призводить до незворотної гіпоксичної травми і, отже, суттєво погіршує функцію органу. В ідеалі, повинен бути діапазон температур, при якому ці дві тенденції можна збалансувати. В інструкції із застосування розчинів для збереження органів вказано діапазон температур від 2°C до 8°C або 4-8°C.

Гіпотермія уповільнює метаболізм, а іонні складові розчину для зберігання сприяють швидкому припиненню електричної активності.

Формування розчину для консервації органів базується на трьох принципах:

- а) гіпотермічна зупинка метаболізму;
- б) забезпечення фізичного та біохімічного середовища, яке підтримує життєздатність структурних компонентів тканини під час гіпотермічної метаболічної зупинки;
- в) мінімізація наслідків заданої шкоди.

Переохолодження не зупиняє метаболізм, але сповільнює швидкість біохімічних реакцій і зменшує швидкість, з якою внутрішньоклітинні ферменти розкладають необхідні клітинні компоненти, необхідні для життєздатності органів.

II. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРУ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДОНОРСЬКИХ ОРГАНІВ

Розроблений пристрій відноситься до медицини, а саме до патофізіології та експериментальної трансплантології, і може бути використаний для тривалого збереження життєздатності донорських органів, відновлення життєздатності трансплантатів, отриманих від донорів [1].

Зовнішні стінки корпусу і кришки виготовлені з ударостійкого пластика, внутрішні стінки корпусу містять термоізоляційний шар, в кришку контейнера вбудований термоагрегат, вентилятор, процесор, пристрій для автономного електроживлення [1].

Канюлі для судин донорського органу виконані з пластика і за допомогою з'єднувальних магістралей з'єднані із зволожувачем і через редуктор тиску з газовим балоном [1].

Пристрій містить контейнер-термостат, що складається з корпусу, кришки і ручки, термодатчик, резервуар для донорського органу, акумулятори холоду, канюлі для судин донорського органу, зволожувач з ротаметром, редуктор тиску, газовий балон, два манометра для контролю тиску газу на виході з балона і в канюлі, з'єднувальні магістралі (Рис. 1):

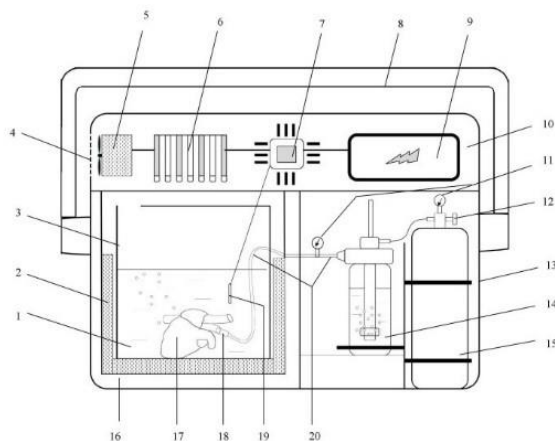


Рис.1. Пристрій для консервування донорських органів [1]

На рисунку 1 розміщені: 1 – консервуючий розчин, 2 – акумулятори холоду, 3 – резервуар для донорського органу, 4 – отвори в кришці контейнера-термостата, 5 – вентилятор, 6 – термоагрегат, 7 – процесор, 8 – ручка контейнера-термостата, 9 – пристрій для автономного електроживлення, 10 – кришка

контейнера-термостата, 11 – манометри, 12 – редуктор тиску, 13 – корпус контейнера-термостата, 14 – зволожувач з ротаметром, 15 – газовий балон, 16 – термоізоляційний шар, 17 – донорський орган (на прикладі серця), 18 – канюля для судин, 19 – термодатчик, 20 – сполучні магістралі.

Як відомо, для консервації донорських органів охолодженням, вилучений донорський орган поміщається в стерильний поліетиленовий пакет, заповнений холодним консервуючим розчином. Пакет з консервуючим розчином і донорським органом поміщається в другій пакет зі стерильною крижаною крихтою, отримана упаковка зберігається в холодильнику. Дане технічне рішення для консервації донорських органів прийнято в переважній більшості трансплантаційних центрів і визнається найбільш оптимальним [1].

Основним недоліком даного технічного рішення є лімітований час збереження життєздатності донорських органів у зв'язку відсутністю їх оксигенації, оскільки збільшення терміну холодової ішемії асоційоване з важким ішемічним і реперфузійним пошкодженням трансплантата [1].

Пристрій для консервації донорських органів функціонує наступним чином. Контейнер-термостат містить акумулятори холоду і забезпечує постійне підтримання температури 2-4°C. У разі виснаження акумуляторів холоду включають пристрій автономного електроживлення [1].

Управління продуктивністю термоагрегату і вентилятора здійснюють через процесор. Вилучений донорський орган поміщають в резервуар з термодатчиком, резервуар заповнений охолодженим до 2-4°C консервуючим розчином. Резервуар переносять в контейнер-термостат і обкладають акумуляторами холоду [1].

Канюлі за допомогою сполучних магістралей з'єднують із зволожувачем і через редуктор - з газовим балоном. Через канюлю здійснюють безперервну інсуфляцію судинного русла донорського органу зволоженим газом або газовою сумішшю з постійним тиском і об'ємною швидкістю [1].

Наявність двох манометрів забезпечує вручну контроль тиску газу на виході з балона і в канюлі. Видалення газу, який пройшов через судини донорського органу, відбувається в

навколишній консервуючий розчин і далі за допомогою вентилятора в атмосферу через отвори в кришці контейнера-термостата [1].

III. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО БОКСІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДОНОРСЬКОГО МАТЕРІАЛУ

Флакони-контейнери, що містять первинно оброблений донорський матеріал, має у своєму розпорядженні в переносному холодильному пристрої, режим роботи якого дозволяє підтримувати температуру всередині робочої камери (обсяг камери 5-10 літрів). Термін зберігання органів для пересадки приблизно 5 годин [4].

Для більш ефективної підтримки заданої температури 0-5°C в робочій камері холодильного пристрою рекомендується розмістити 5-6 додаткових "холодоносіїв" – спеціальних пластикових контейнерів, попередньо охолоджених в морозильній камері до температури -20-40°C. Це дозволяє довше і краще витримувати температурний режим повітря у великій за обсягом (до 10 літрів) робочій камері холодильного пристрою [4].

Транспортування від місця забору органів до місця виконання процедури (операційної) здійснюється транспортним засобом, що має автономну систему електроживлення (=12V), що дозволяє забезпечити електрикою переносний холодильний пристрій, де розміщений флакон-контейнер, що містить донорський матеріал [4].

IV. СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ У ПРОГРАМІ SOLIDWORKS

Основа боксу для перевезення донорського серця має форму прямокутника із загальними розмірами 380x265x295 мм., що забезпечує герметичність конструції (рис2):

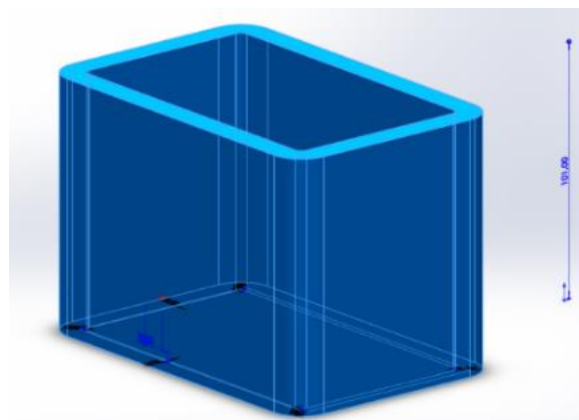


Рис. 2. Основна боксу для транспортування органів

Застосування у конструції тонкої алюмінієвої пластини, забезпечує ефективний теплообмін (рис. 3):

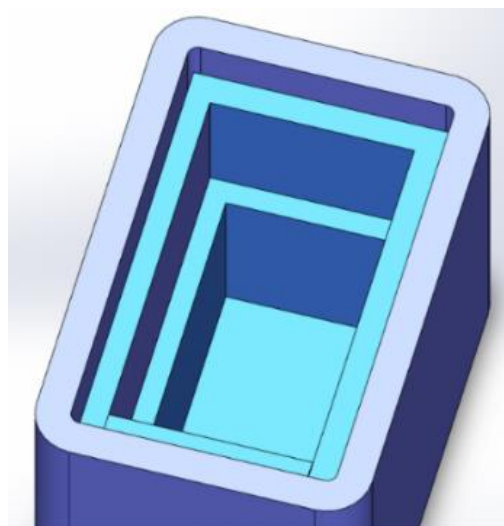


Рис. 3. Внутрішні стінки боксу

Відомо, що органи будуть зберігатися протягом більш тривалого часу, якщо їх охолодити до температури, близької до температури замерзання, зазвичай 4°C, і активно перфузувати через їх судинне русло буферним сольовим розчином, що містить поживні речовини, і що зберігання ізольованого органу може бути ще більше продовжено, якщо розчин насичений киснем.

Декілька факторів грають роль в тривалому збереженні органів. При 4°C метаболізм значно знижується, знижується потреба в поживних речовинах і кисні, а також значно знижується виробництво молочної кислоти та інших токсичних кінцевих продуктів метаболізму. Циркуляція перфузійної рідини заповнює кисень і поживні речовини, доступні тканинам, і видаляє молочну кислоту та інші токсичні метаболіти. Буферний розчин підтримує рН і

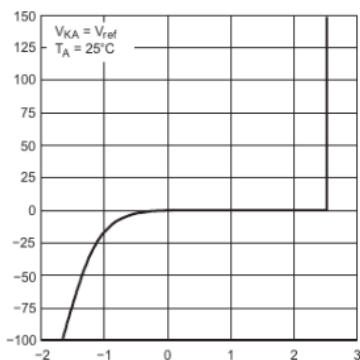


Рис. 9. Графік залежності струму катоду від напруги

Терморезистор, який за кімнатної температури має опір 50 кОм, змінює свій опір при температурі 0-130°C від 3кОм до 150кОм. Саме на такий діапазон має регулюватися верхнє плече дільника напруги, тому для верхнього плеча достатньо змінного резистора на 150к та невеликого резистора на пару сотень Ом для задання максимальної температури нагріву, які ввімкнені послідовно (рис. 10):

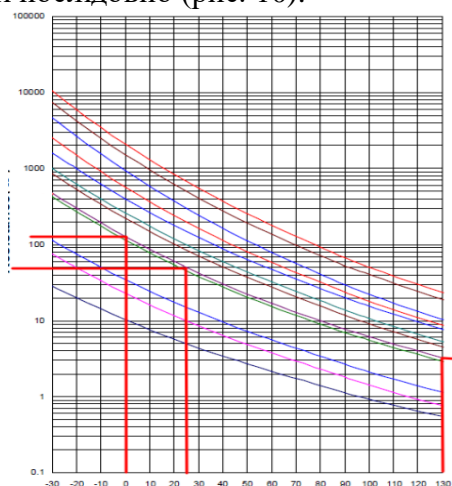


Рис. 10. Графік залежності опору від температури

Резистор з кнопкою потрібні для ручного ввімкнення нагрівач при низьких температурах. При зажатій кнопці нагрівач нагріватиме приблизно до 110-120°C, коли опір терморезистора падатиме до 4-5 кОм.

VI. ВИСНОВКИ

Виконана розробка дозволяє створити, на основі доступних матеріалів і електронних засобів, вітчизняний бокс для транспортування донорських органів в умовах підтримки стабільної температури в межах 2-4°C з урахуванням похибки 0,5°C.

Для моделювання процесів циркуляції рідини в системі охолодження було обрано програмне середовище SolidWorks.

Для моделювання та розрахунку схеми терморегулятора було обрано програмний комплекс MicroCap-12. Проведено розрахунки подачі струму в базу транзистора $I = 15,5$ мА. Було побудовано графік залежності струму катоду від напруги та графік залежності опору від температури, на якому показано, що терморезистор, який за кімнатної температури має опір 50 кОм.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Устройство для консервации донорских органов [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://findpatent.ru/patent/274/2741219.html>.
- [2] СИСТЕМА ТРАНСПОРТИРОВКИ ОРГАНОВ (ORGAN CARE SYSTEM) ОТ TRANSMEDICS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.medcom.ru/pages/novosti/sistema-transportirovki-organov-organ-care-system-ot-transmedics/>.
- [3] Innovative cold storage of donor organs using the Paragonix Sherpa Pak TM devices [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dash.harvard.edu/bitstream/handle/1/23473955/4593023.pdf?sequence=1>.
- [4] "Хранение и транспортировка донорских органов" [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://knowledge.allbest.ru/medicine/3c0b65625a3bd78a5c43a88521206c27_0.html.
- [5] Аппаратура и методы консервации органов [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://patents.google.com/patent/US20040170950A1/en>.
- [6] Электронный терморегулятор [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://radiobezdna.ru/termoregulatory/prostoj-termoreguluyemom-stabilitrone-tl431.html>.
- [7] Технология трансплантации від TransMedics. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.geekwire.com/2015/university-of-washington-performs-first-successful-heart-in-a-box-surgery-in-the-u-s/>.
- [8] Клиническое исследование сердца OCS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.transmedics.com/ocs-hcp-heart/>.
- [9] Трансплантация донорского сердца без его остановки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ruski.radio.cz/transplantaciya-donorskogo-serdca-bez-ego-ostanovki-8117609>.
- [10] Система ухода за органами для закупки сердца и стратегии уменьшения первичной недостаточности трансплантата после трансплантации сердца [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1522294215001701>.
- [11] Составы, методы и приспособления для ухода за органом [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://patents.google.com/patent/US6046046A/en>.
- [12] Система транспортных контейнеров для органов [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.patentsencyclopedia.com/imgfull/20110033916_01.

- [13] Paragonix SherpaPak™ Сердечный транспортная система [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://paragonixtechnologies.com/products/sherrapak-cardiac/>.
- [14] [Операционные методы в торакальной и сердечно-хирургии [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа до

ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1522294215001701>.

УДК 616-78

БОКС ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ДОНОРСКОГО СЕРДЦА

Овчаренко А.Р., ст. преп,
ilikanet@ukr.net

Лысенко Н.В., студентка
natalisha1810@gmail.com

Кафедра биомедицинской инженерии
Национальный технический университет Украины
“Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”
Киев, Украина

Реферат - Трансплантация сердца остается золотым стандартом лечения сердечной недостаточности в терминальной стадии. Однако около 40% смертей в первые 30 дней после трансплантации сердца наступает из-за недостаточности первичного трансплантата. Такие органы как сердце, легкие, почки, печень, селезенка чувствительны к действию низких температур и ишемии, поэтому нуждаются в гипотермической консервации и дополнительных мер защиты от гипотермии даже при охлаждении до температуры 4-5°C. Одним из ограничивающих факторов максимального использования донорского сердца есть расстояние между донорской больницей и больницей-реципиентом. В современных приборах для транспортировки донорского сердца важную роль играет стабильность температуры во время транспортировки, что позволяет увеличить безопасное время изъятия и снизить частоту первичной недостаточности трансплантата. Поэтому актуальной является модернизация существующего устройства, благодаря разработке электрической схемы контроля температуры, что избавит от возможных ошибок во время транспортировки.

В данной работе представлены разработанные принципиальные электрические схемы терморегулятора и приведены разработки бокса для перевозки донорского сердца в среде SolidWorks.

Ключевые слова: сохранение органов, трансплантация сердца, трансплантация почки.

UDC 616-78

DONOR HEART TRANSPORT BOX

Ovcharenko G. R., senior lecturer
ilikanet@ukr.net

Lysenko N. V., student
natalisha1810@gmail.com

Department of Biomedical Engineering
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Kiev, Ukraine

Abstract - Heart transplantation remains the gold standard for the treatment of terminal heart failure. However, about 40% of deaths in the first 30 days after heart transplantation are due to failure of the primary graft. Organs such as the heart, lungs, kidneys, liver, spleen are sensitive to low temperatures and ischemia, so they need hypothermic preservation and additional measures to protect against hypothermia, even when cooled to 4-5° C. One of the limiting factors for maximum use of the donor heart there is a distance between the donor hospital and the recipient hospital. In modern devices for transporting the donor heart, the stability of the preservative solution temperature plays an important role, it is possible to increase the safe removal distance, reduce the frequency of primary graft failure and potentially increase heart transplantation. Therefore, it is important to develop an improved existing device, through the development of an electrical circuit for temperature control, which will eliminate possible errors during transportation.

This paper presents the developed schematic diagrams of the electronic thermostat and presents the development of boxing for the transportation of the donor heart in the SolidWorks environment.

Keywords: organ preservation, heart transplantation, kidney transplantation.