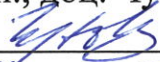


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

УДК 616.61-78

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри
комп'ютерних технологій у
медицині та телекомунікаціях
к.т.н., доц. Чухов В.В.


« 10 » 12 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Дослідження ефективності гемодіалізу та гемодіафільтрації при
хронічній нирковій недостатності»

за спеціальністю 163 «Біомедична інженерія»
освітній ступінь «магістр»

Виконавець роботи
студент 2 курсу, гр.БІм-22-1


19.12.2023
(дата, підпис)

Сторожук І.М.

Керівник роботи
к.т.н., доц.


15.12.2023
(дата, підпис)

Коренівська О.Л.

Житомир
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему Дослідження ефективності гемодіалізу та гемодіафільтрації при
хронічній нирковій недостатності

Виконав: студент 2 курсу,
групи БІм-22-1 спеціальності
163 «Біомедична інженерія» _____

Сторожук І.М. _____

Керівник _____ Коренівська О.Л. _____

Рецензент _____ Коломієць Р.О. _____

Житомир
2023

«Затверджено»

Завідувач кафедри комп'ютерних
технологій у медицині та
телекомунікаціях

 Владислав ЧУХОВ
«27» 10 2022 р.

Завдання на кваліфікаційну магістерську роботу

Сторожук Іван Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження ефективності гемодіалізу та гемодіафільтрації при
хронічній нирковій недостатності

затверджено наказом по університету від « » 202 р. № 680

2. Мета дослідження: дослідити на скільки процедура гемодіафільтрації є більш
ефективніша за гемодіаліз та її вплив на фізіологічні показники людини.

3. Вихідні дані (характеристики об'єкта, умов дослідження та ін.): в якості
даних дослідження було взято результати аналізів пацієнтів обласної лікарні
філії відділення гемодіалізу.

4. Основні задачі дослідження: 1. Розробити методологію для проведення
експерименту з оцінки ефективності гемодіафільтрації порівняно з
гемодіалізом. 2. Зібрати та проаналізувати дані про фізіологічні показники
пацієнтів під час гемодіафільтрації та гемодіалізу. 3. провести статистичну
обробку отриманих даних.

5. Термін подання роботи до захисту 7 грудня 2023р

6. Дата видачі завдання «10» жовтня 2023р.

Науковий керівник


(підпис)

Завдання прийняв
до виконання


(підпис)

Коремівська О.П.
(прізвище, ініціали)

Сторожук І.М.
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота присвячена дослідженню ефективності процедури гемодіафільтрації в порівнянні зі звичайним гемодіалізом. Гемодіаліз - це процедура, під час якої кров пацієнта очищається від токсинів та надлишків рідини за допомогою спеціального апарату, в свою чергу гемодіафільтрація комбінує елементи гемодіалізу та фільтрації, дозволяючи більш ефективно видаляти токсини та надлишки рідини. Дослідження проводилось на сучасному апараті для гемодіалізу, що може працювати у двох вище згаданих режимах.

Досліджено вплив двох процедур на результати аналізів пацієнтів, та проведено статистичну обробку отриманих даних.

ABSTRACT

This qualification work is devoted to the study of the effectiveness of the hemodiafiltration procedure in comparison with conventional hemodialysis. Hemodialysis is a procedure during which the patient's blood is cleansed of toxins and excess fluid using a special device, while hemodiafiltration combines the elements of hemodialysis and filtration, allowing for more efficient removal of toxins and excess fluid. The study was conducted on a modern hemodialysis machine that can operate in the two above modes.

The effects of the two procedures on the results of patients' analyzes were investigated, and the data obtained were statistically processed.

Зміст

Вступ.....	6
Розділ 1 Фізіологічні і гідродинамічні принципи гемодіалізу.....	8
1.1. Механізми транспортування молекул через напівпроникну мембрану.....	8
1.2. Клінічне застосування дифузії та ультрафільтрації.....	13
Розділ 2 Апаратура для проведення гемодіалізу	16
2.1.Будова апарату для гемодіалізу	17
2.2. Вода для гемодіалізу	22
2.3. Модульна система отримання очищеної води для гемодіалізу.....	24
Розділ 3 Методика проведення дослідження	27
3.1. Вибір учасників експерименту	27
3.2. Опис проведення процедур	28
3.3. Збір даних	29
Розділ 4 Результати дослідження.....	30
Розділ 5 Статистична обробка даних	36
5.1. Вплив гемодіалізу та гемодіафільтрації на артеріальний тиск пацієнтів.....	45
5.2. Кореляційний аналіз.....	48
Висновки	60
Список використаних джерел	61

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність дослідження теми гемодіалізу обумовлена нагальністю проблеми хронічних захворювань нирок та їх впливом на здоров'я людей. Захворювання нирок стають все більш поширеними і є серйозним фактором загрози здоров'ю населення. Гемодіаліз, як метод ефективного видалення токсинів та надлишків рідини з крові є необхідним елементом лікування пацієнтів із хронічною нирковою недостатністю. Дослідження ефективності гемодіалізу важливо для пошуку способів поліпшення процедури, забезпечення найвищого ступеня безпеки і комфорту для пацієнтів, а також оптимізації витрат медичних ресурсів. Враховуючи постійний розвиток медичних технологій та важливість гемодіалізу для великої кількості людей, дослідження у цій області є актуальним і може сприяти подальшому вдосконаленню методів лікування та догляду за хворими з хронічною нирковою недостатністю.

«Звичайний» гемодіаліз є найпоширенішою методикою у світі. Ця поширеність здебільшого обумовлена не його ефективністю, а економічними факторами, адже система охорони здоров'я будь-якої країни витрачає величезні кошти на лікування пацієнтів гемодіалізом. З медичної точки зору, гемодіаліз 3 рази на тиждень по 4 години є мінімальним рівнем лікування, який має бути забезпечений.

Процедура гемодіафільтрації на перший погляд не відрізняється від гемодіалізу, але є технічно більш складною і потребує спеціального обладнання – апаратів для гемо(діа)фільтрації. Такі апарати можуть проводити і гемодіаліз, але на відміну від звичайних апаратів для гемодіалізу, мають складнішу конструкцію, оскільки забезпечують приготування заміщуючого розчину, який повинен бути стерильним.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – дослідити на скільки процедура гемодіафільтрації є більш ефективніша за гемодіаліз та її вплив на фізіологічні показники людини.

Для досягнення поставленої мети було розв'язано наступні задачі:

1. Провести літературний огляд для отримання повного розуміння теоретичних аспектів гемодіафільтрації та гемодіалізу.
2. Розробити методологію для проведення експерименту з оцінки ефективності гемодіафільтрації порівняно з гемодіалізом.
3. Зібрати та проаналізувати дані про фізіологічні показники пацієнтів під час гемодіафільтрації та гемодіалізу, та провести статистичну обробку отриманих даних.
4. Сформулювати висновки та рекомендації на основі отриманих результатів дослідження.

Об'єктом дослідження є процедура гемодіафільтрації та гемодіалізу

Предметом дослідження є вплив процедур гемодіафільтрації та гемодіалізу на фізіологічні показники людини.

РОЗДІЛ 1

ФІЗІОЛОГІЧНІ І ГІДРОДИНАМІЧНІ ПРИНЦИПИ ГЕМОДІАЛІЗУ

Гемодіаліз – це один із способів замісної ниркової терапії у пацієнтів з термінальною стадією хронічної чи гострої ниркової недостатності, за допомогою якого проводиться видалення кінцевих продуктів метаболізму – креатиніну та сечовини, а також вільної води. Метод заснований на принципі дифузії та конвекції речовин з малою та середньою молекулярною масою через напівпроникну мембрану, що дозволяє видалити з крові токсичні речовини та продукти метаболізму.

Термін «діаліз» був вперше запропонований шотландськими хіміками Т. Graham і А. Fick в кінці XIX століття для описання і роз'яснення феномену руху водорозчинних речовин і іонів через напівпроникну мембрану, розділяючи два різних по складу солей розчина (мочу і дистильовану воду). Пройшло не так вже й багато часу і методи лікування засновані на хімічному принципі діалізу біологічних рідин (крові та ін.), стали широко використовуватися в практичній медицині і врятували життя сотень тисяч хворих з гострою і хронічною нирковою недостатністю.

Напівпроникна мембрана – основний компонент для діалізу, являє собою тонку пласку плівку, трубку чи капіляр з біологічного (брюшина), природного (хлопок), чи з синтетичного матеріалу з різними по величині мікропорами, через які проходять молекули води і розчинених в ній хімічних чи біологічних речовин.

1.1 Механізми транспортування молекул через напівпроникну мембрану

Розрізняють два основних механізми транспортування молекул через напівпроникну мембрану – дифузії і ультрафільтрацію або конвекцію.

Дифузія

Дифузія – це процес броунівського руху розчинених в будь якій рідині речовин через напівпроникну мембрану в наслідок різниці в концентрації (рисунок 1.1). При цьому в обов'язковому порядку, рух молекул завжди направлено в сторону меншої концентрації або відсутності даної речовини по іншу сторону мембрани.



Рисунок 1.1 – Принцип дифузії розчинених речовин через напівпроникну мембрану

Швидкість руху речовин через мембрану залежить від наступних факторів:

- Різниці в концентрації;
- Величини пор мембрани;
- Поверхні мембрани;
- Величини молекули речовини;
- Часу експозиції;
- Температури і заряду мембрани.

При цьому, якщо концентрація речовини по обидві сторони мембрани вирівнюються, то дифузія повністю припиняється.

Характеризуючи швидкість дифузії, цілком очевидно, що малі за розміром молекули (наприклад вода і електроліти) будуть швидше дифундувати через пори мембрани, ніж великі (наприклад креатинін), для яких

потрібен більший проміжок часу для проходження через неї і вирівнювання концентрації.

Розміри пор напівпроникної мембрани мають особливе значення для діалізу крові, тобто для гемодіаліза. Якщо діаметр пор менший діаметра розчинених у крові речовин, то вони не будуть проходити через мембрану і продовжать надавати токсичний вплив на життєво важливі процеси організму. На практиці застосовують такі мембрани, через які вільно дифундують вода і електроліти, гірше низькомолекулярні метаболіти, дуже погано середньомолекулярні токсини (ММ 500 – 5000 дальтон). Навпаки, повністю не проникають білки і великомолекулярні фракції, що дозволяє підтримувати онкотичний тиск крові і інші фізіологічні процеси.

Для характеристики процесів транспортування води і розчинених в ній речовин через напівпроникні мембрани використовують поняття «резистентність» (або опірність). На неї впливають як товщина мембрани, величина пор, їх симетричність (діаметр і звивистість каналів транспортування всередині мембрани), так і поверхневий заряд, забезпечуючий або гідрофільність (притягання води), або гідрофобність (відштовхування води). Іншими словами високо резистентні мембрани володіють характеристиками для різних метаболітів і навпаки.

Ультрафільтрація

Ультрафільтрація являється другим механізмом трансмембранного очищення крові, коли разом з водою видаляються і розчинені в ній речовини. Цей процес має назву конвекційного механізму переносу метаболітів через напівпроникну мембрану. Одним з умов для реалізації конвекції являється використання спеціальної високопроникної (високопоточної) мембрани, оскільки через традиційні діалізні мембрани більшість молекул з ММ вище 500 дальтон не проходять. Натомість молекули води дуже малі і проходять через пори всіх напівпроникних мембран, однак цей рух здійснюється тоді, коли з одної сторони мембрани гідростатичний (осмотичний) тиск буде відрізнятися від такого з іншої сторони (рисунок 1.2).

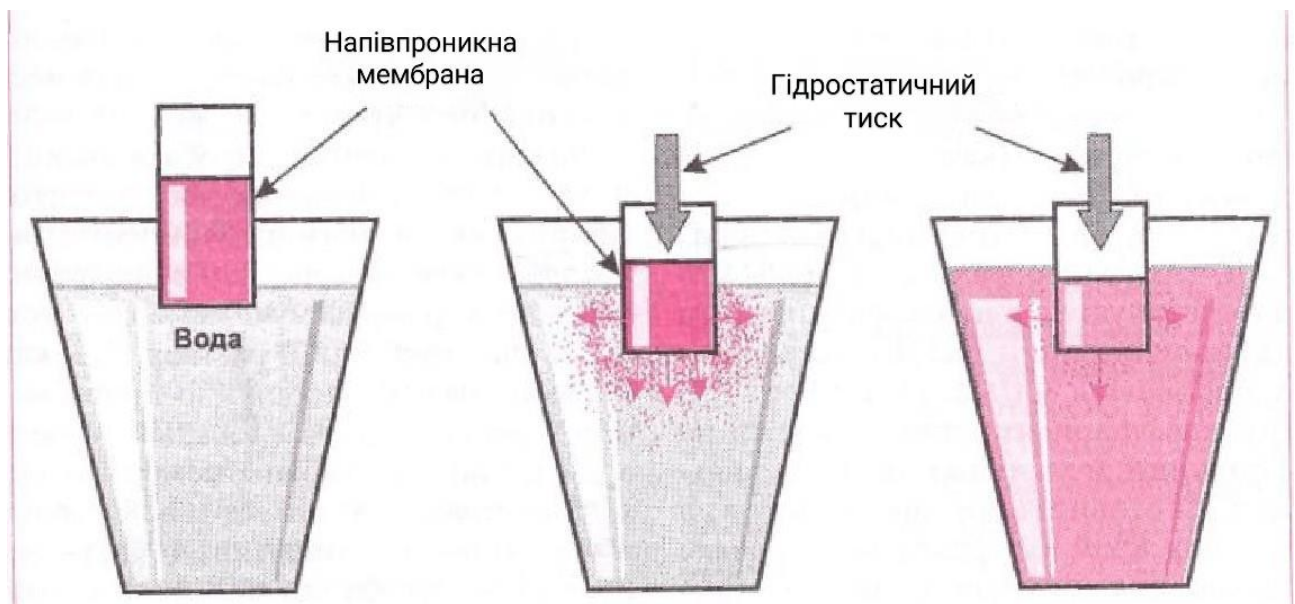


Рисунок 1.2 – Принцип ультрафільтрації при гемодіалізі

При гемодіалізі в апараті «штучна нирка» в контурі діалізуючого розчину створюється регульований негативний гідростатичний тиск і це дозволяє видаляти з русла крові заданий об'єм рідини, що особливо важливо для хворих з відсутністю вивідної функції нативних нирок.

Отже ультрафільтрація (конвекція) при гемодіалізі забезпечується позитивним трансмембранним тиском (ТМД), яке являється різницею гідростатичного тиску, що створюється в перфузійному контурі апарата «штучна нирка» і онкотичного тиску крові. При цьому онкотичний тиск діє проти гідростатичного, оскільки в діалізаті немає білка. Онкотичний тиск крові невеликий (біля 20 мм.рт.ст.) і на практиці не враховується, тобто в клінічних умовах ТМД дорівнює гідростатичному тиску.

В таблиці 1.1 наведені основні фізіологічні принципи гемодіалізу на напівпроникних мембранах, які реалізовані в апаратах «штучна нирка» і забезпечує очищення крові від уремічних токсинів і води, що дозволяє на довгі роки зберегти життя і фізичну активність пацієнтів з нефрологічною патологією.

Таблиця 1.1 –Фізіологічні принципи гемодіалізу

Принцип масопереносу	Рушійні сили	Впливаючі фактори
Дифузія	Різність концентрації, броунівський рух молекул	Градiєнт концентрації
		Молекулярна маса метаболіту
		Товщина мембрани
		Склад і властивості мембрани
		Площа поверхні мембрани
		Температура розчину
		Час експозиції
Конвекція (ультрафільтрація)	Різність гідростатичного тиску	Градiєнт гідростатичного тиску
		Градiєнт осмотичного тиску
		Склад і властивості мембрани
		Час експозиції

Здатність діалізної мембрани пропускати воду (як і метаболіти) залежить від товщини мембрани, діаметра пор, симетричності мембрани та, головним чином, від ТМД, що характеризується так званим коефіцієнтом ультрафільтрації (КУФ), що має розмірність у мл/годину на 1 мм рт. ст. Цей коефіцієнт встановлюється на підставі модельних дослідів заводами виробниками діалізаторів, а значення КУФ обов'язково вказуються на етикетках діалізаторів або інструкціях, що додаються для користувача.

1.2 Клінічне застосування дифузії та ультрафільтрації

У клінічних умовах у гемодіалізаторі апарату «штучна нирка» відбувається той самий складний процес очищення крові від токсинів, надлишку солей і води, який ґрунтується на описаних вище принципах дифузії та ультрафільтрації. При цьому з однієї сторони мембрани циркулює кров, а з іншої складний електролітний діалізуючий розчин, відповідний в основному складу плазми крові здорової людини. (табл. 1.2).

Таблиця 1.2– Склад діалізуючого розчину і плазми крові здорової людини

Склад компонентів	Плазма крові	Діалізат
Натрій, моль/л	135-152	135-145
Калій, моль/л	3,6-6,0	0-4,0
Кальцій, моль/л	2,2-2,75	1,35-2,50
Магній, моль/л	0,7-1,2	0,5-0,75
Хлор, моль/л	95-110	98-124
Бікарбонат, моль/л	22-29	30-40
pH	7,32-7,42	7,1-7,3

Молекули невеликої молекулярної маси, що утворюються в результаті катаболізму білка, що накопичуються в крові при уремичному синдромі (сечовина, креатинін, сечова кислота та ін), а також надлишок електролітів (натрій, калій, магній), концентрація яких у крові вище, ніж у діалізаті, через напівпроникну мембрану йдуть у діалізуючий розчин. Так як кров і діалізат постійно протікають через діалізатор, то в кожний момент часу по обидва боки мембрани знаходяться нові порції «брудної» крові та «чистого» діалізуючого розчину, і процес дифузії постійно відбувається через відносно постійного градієнта концентрації. Протягом кількох годин (4-6) кров настільки очищається від токсинів, що швидкість та обсяг дифузії зменшуються і, нарешті, вона повністю припиняється. Сеанс гемодіалізу можна зупиняти.

Важливим моментом забезпечення тривалого та ефективного процесу дифузії при гемодіалізі є умова протитечії крові та діалізату в діалізаторі, що має принципове значення при використанні високопроникних мембран.

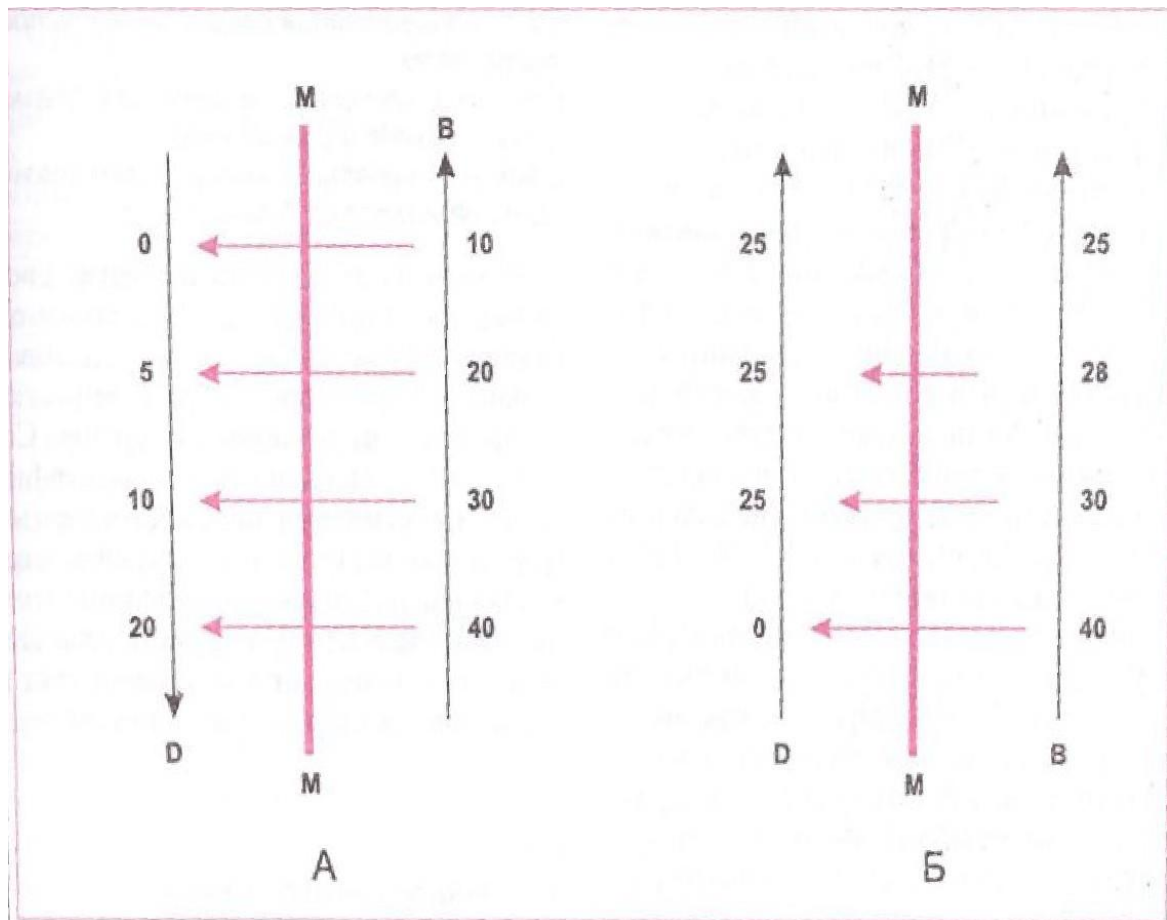


Рисунок 1.3– Схема масопереносу в капілярному діалізаторі.

М – напівпроникна мембрана. В – потік крові. D – потік діалізату. Цифрами позначена концентрація низькомолекулярного умовного метаболіту

На рисунку 1.3 представлена схема дифузії метаболітів уздовж мембрани діалізатора. Так, на вході до діалізатора кров містить максимально високу концентрацію уремичних токсинів (А). При русі по капілярах або вздовж пластини діалізатора їх концентрація падає і на виході з діалізатора знаходиться на мінімальному рівні або взагалі відсутня. Навпаки, в діалізуючому розчині вздовж мембрани концентрація метаболітів наростає в певний момент виявляється така ж, як у крові чи навіть вище. Якби потоки крові та діалізату були паралельні (Б), то у вихідній частині діалізатора виникали умови для

припинення дифузії або навіть зворотного руху токсинів з діалізату в кров, що, звісно, неприйнятно. Саме для забезпечення рівномірної дифузії по всій поверхні мембрани і застосовується принцип протитечії крові і діалізату, що являється обов'язковою умовою гемодіалітичної терапії.

Висновок до розділу 1

Аналізуючи матеріал даного розділу можна встановити, що наша робота спрямована на вивчення і аналіз того як відбувається очищення крові пацієнта апаратом «штучна нирка» при проведенні процедур гемодіалізу та гемодіафільтрації та як ці процеси корелюють зі станом здоров'я пацієнта.

РОЗДІЛ 2

АПАРАТУРА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ГЕМОДІАЛІЗУ

Історичні аспекти створення апарату «штучна нирка» включають кілька послідовних етапів, коли розробники йшли від громіздких і примітивних пристроїв, що моделюють функцію виділення нирок, до міфічної мініатюрної носимої або імплантованої моделі. Нарешті, до кінця XX століття зупинилися на середньому варіанті. Апарат «штучна нирка» сьогодні є компактним виробом у вигляді невеликого блоку на коліщатках, наповненого електронними та гідравлічними системами, що забезпечують безпечний та ефективний процес очищення крові від уремічних токсинів.

Вимоги до сучасного апарату «штучна нирка»:

1. апарат повинен бути компактным, мобільним і легко переміщуваним у замкнутому просторі та вписуватись в інтер'єр приміщення;
2. він повинен легко споряджатися витратними елементами;
3. він повинен бути легко керованим не лише медичним персоналом, а й самим хворим чи родичами;
4. всі блоки апарату повинні бути легко доступними для технічного та сервісного обслуговування;
5. вартість апарату має бути розумною і не створювати великих проблем для держави чи сім'ї хворого. - Як би не вирішувалися всі ці питання, на сьогодні апарати «штучна нирка», що випускаються різними фірмами, забезпечують такі функції нативних нирок:

- елімінація токсичних продуктів метаболізму;
- регулювання водно-електролітного балансу;
- регуляція осмотичної рівноваги рідин організму;
- регуляція кислотно-основного обміну.

Досі апарати «штучна нирка» не здатні:

- виробляти гормони (еритропоетин, ренін, простагландини та ін.);

- брати участь у метаболічних перетвореннях біологічно активних речовин та гормонів (віт. D та ін.);
- працювати безперервно протягом років та десятиліть.

Тим не менш, апарати «штучна нирка» - це реально існуюча техніка, здатна довгостроково підтримувати життя і фізичну активність людей зі стійко втраченою функцією власних нирок.

2.1 Будова апарату для гемодіалізу

Нижче представлена основна модель Dialog+ГДФ-онлайн, яка використовувалась для проведення дослідження. Відмічені компоненти, не встановлені у всіх апаратах базової комплектації або поставляються як опції.

Вигляд спереду

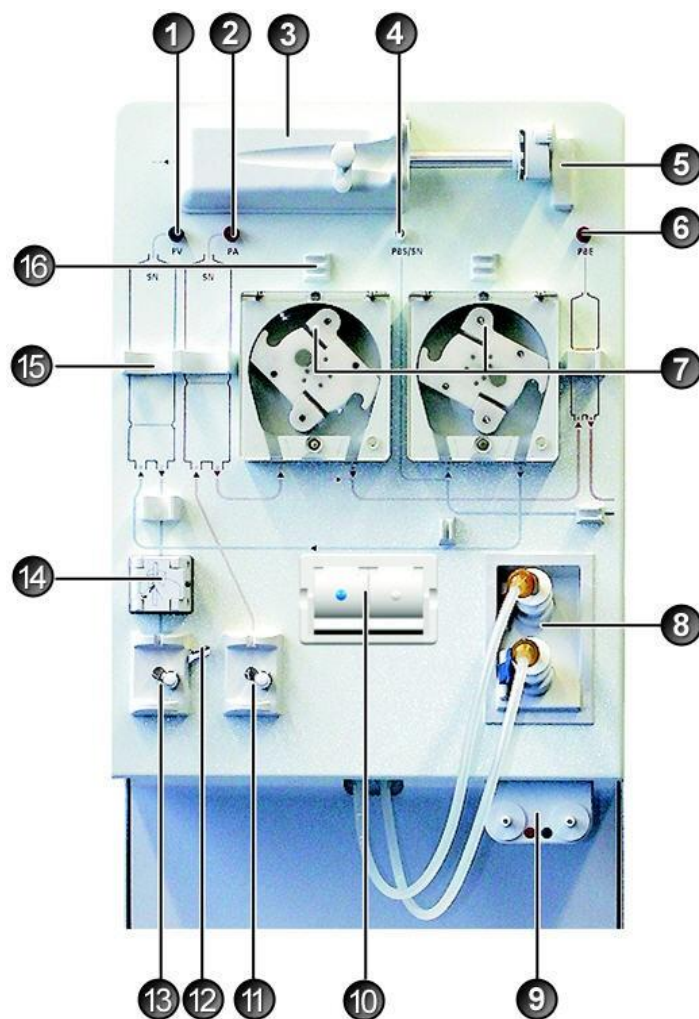


Рисунок 2.1 – Основні моделі, вигляд спереду

Опис

1. Підключення датчика венозного тиску (синій)
2. Підключення датчика артеріального тиску (червоний)
3. Гепариновий насос
4. Підключення датчика тиску для регулювання венозного кровотоку в одноголкового перехресного режимі роботи (білий)
5. Обмежувач шприца
6. Підключення датчика тиску для артеріального вхідного тиску до діалізатора (червоний)
7. Насос крові (один або два насоса в залежності від моделі)
8. Порти промивки для забірників концентрата
9. З'єднувач для централізованої подачі концентрата (опція)
10. Порти для магістралей заміщення (тільки для Dialog+ ГДФ-онлайн)
11. Артеріальний зажим (для апаратів Dialog+з одним насосом: тільки з функцією SN-клапан)
12. Важіль для ручного відкриття венозного зажима
13. Венозний зажим
14. Повытряний детектор (SAD) і детектор червоного
15. Фіксатори для розширювальних(ної) камер(и) для одноголкової магістралі
16. Фіксатори для кровопровідних магістралей

Вигляд збоку

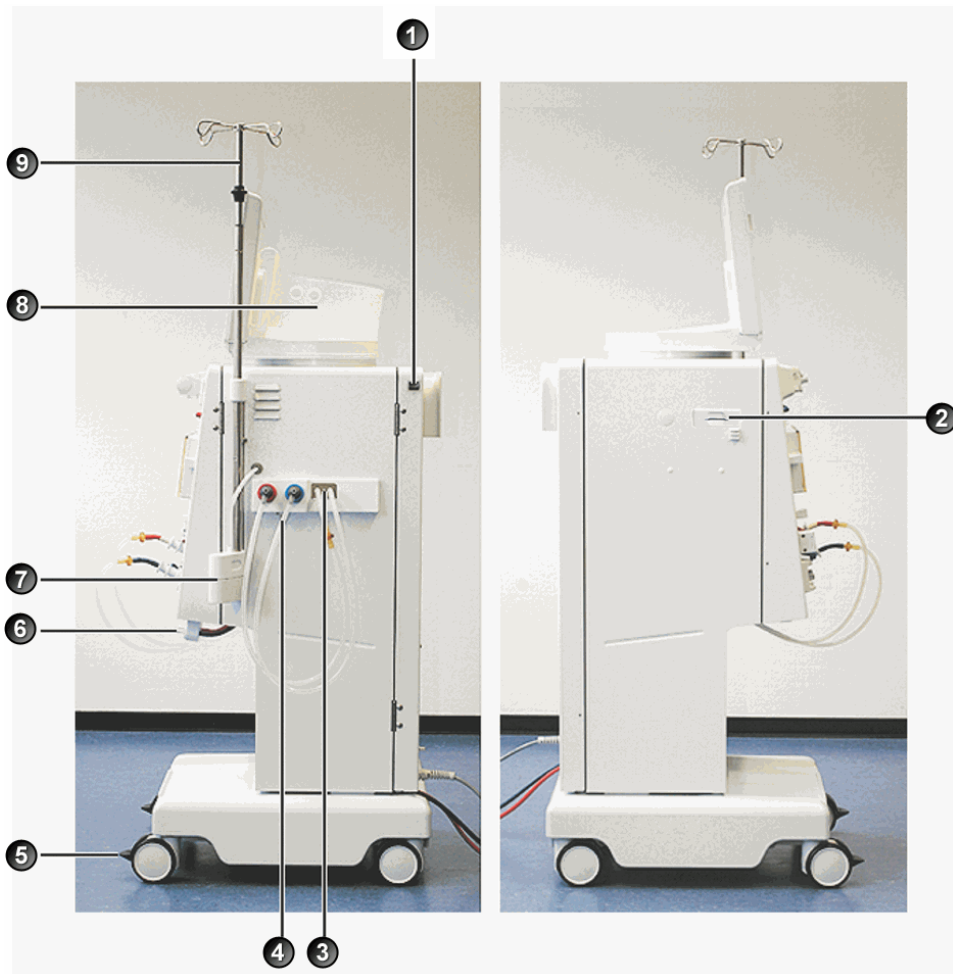


Рисунок 2.2 – Основні моделі, вигляд збоку

Опис

1. Вмикач живлення
2. Card reader
3. З'єднувачі для трубок діалізата з мостом промивки
4. З'єднувачі для забору дезінфіката
5. Колісні стопори
6. З'єднувач для централізованої подачі концентрата (опція)
7. Тримач для бікарбонатного картриджа (завжди для Dialog+ ГДФ-онлайн, для Dialog+ з одним і двома насосами)
8. Кошик для зберігання
9. Інфузійна стійка (в деяких моделях стійка може бути нерегульованою)

Вигляд ззаду

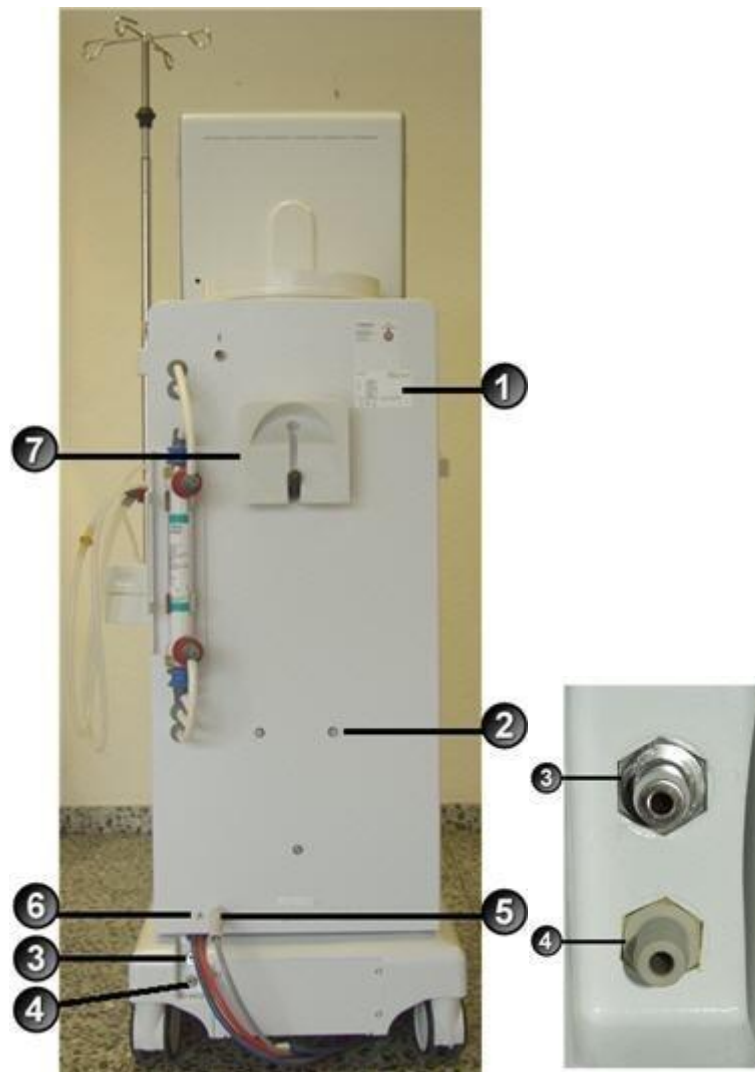


Рисунок 2.3 – Основні моделі, вигляд ззаду

Опис

1. Шильда
2. Кріплення для тримача дезинфікату
3. Порт забору води
4. Злив відпрацьованого діалізату
5. Мережевий кабель
6. З'єднувач для заземлення
7. Важіль для ручного повернення крові

Апарат Dialog+ ГДФ-онлайн

Апарат Dialog+ ГДФ-онлайн застосовується в лікарнях, поліклініках і в домашньому діалізі. В ньому завжди присутні наступні можливості:

- Кольоровий екран з сенсорним керуванням
- Одноголковий режим з двома насосами
- Ацетатний/бікарбонатний режими
- Пристрій волуметричної ультрафільтрації
- Насос гепарина
- Фіксовані, або легко налаштовувальні для композиції діалізата, температури, потоку, гепарину та ультрафільтрації
- Підготовка апаратом ультрачистого діалізату для гемодіалізу з дворівневою системою фільтрації діалізату для забезпечення чистого розчину заміщення
- Підготовка апаратом апірогенного розчину заміщення, вільного від бактерій, для використання в гемофільтрації та гемодіафільтрації
- Опція для додавання замінного розчину в режимі пре- або постдилюції
- Утримувач бікарбонатного картриджа
- Теплообмінник

Наступні можливості доступні як додаткові опції:

- Неінвазивний вимірник кров'яного тиску НІКД (ABPM)
- bioLogic RR® Comfort (Автоматична стабілізація кров'яного тиску АСКД, тільки разом із НІКД)
- Центральне постачання концентратом (ZKV)
- Аварійний блок живлення
- Інтерфейс передачі даних (різного використання):
 - Інтерфейс зв'язку апарата Dialog+ із комп'ютером
 - Виклик персоналу

- BSL (Bed Side Link): Пристрій читання чіп-карт та інтерфейс підключення до системи керування даними Nexadia

- Ролики 7 x 10 мм
- Adimea
- Інтерфейс КритЛайн
- Card reader

Види лікування

Апарат Dialog ГДФ-онлайн може використовуватись для проведення наступних видів лікування:

- Гемодіаліз – ГД (HD)
- Ізольована ультрафільтрація Ізол. УФ (ISO UF)
- Гемофільтрація – ГФ (HE)
- Гемодіафільтрація ГДФ (HDF)

Методи лікування

Апарат Dialog ГДФ-онлайн може використовуватись для наступних методів лікування:

- Двоголковий режим
- Одноголковий режим «два насоси» ОІ-ДН; можливий лише під час проведення ГД та Ізол. УФ
- Одноголковий режим

2.2 Вода для гемодіалізу

Однією з основних складових сучасного гемодіалізу є наявність стабільного по електролітному та осмотичному складу діалізуючого розчину, що готується в апараті "штучна нирка" шляхом змішування порцій концентрату солей з певним об'ємом води.

У нормі здорова людина споживає до 1,5-2,0 л води на добу. Кров хворого під час 4-годинного сеансу гемодіалізу контактує зі 120-200 л діалізату, підготовленого на основі води. Саме тому до діалізної води пред'являються

жорсткі вимоги щодо запобігання попаданню з неї у кров хворого через мембрану токсичних речовин, що викликають тяжкі ускладнення. Ще близько 15-20 років тому, коли в більшості відділень були відсутні системи очищення води, низьке виживання та погана переносимість гемодіалізу безпосередньо пов'язувалися з поганою якістю діалізуючих розчинів та синдромом т.зв. "важкої води".

Звичайна водопровідна (муніципальна) вода, яка раніше використовувалася для приготування діалізуючих розчинів, містить велику кількість забруднювачів - контамінантів, кількість яких залежить від географічного положення цієї точки, кліматичних та інших факторів. У таблиці 2.1 наведено перелік контамінант у водопровідній воді, які можуть потрапляти в кров хворих під час сеансу гемодіалізу.

Таблиця 2.1 Види забруднювачів у водопровідній воді

Походження	Основні компоненти
Природні	Мінеральні, рослинні, органічні компоненти, бактерії та інші мікроорганізми
Міські (урбанічні)	Різні органічні і хімічні компоненти
Промислові	Органічні і неорганічні хімічні компоненти, радіонукліди
Сільськогосподарські	Хімічні стерилізанти, пестициди, гербіциди, екскременти тварин

Урбанізація життя наших територій поряд із давно існуючими природними контамінантами відіграла істотну роль в екологічних проблемах. Великі міста з їх потужними промисловими підприємствами, зі слабкими очисними спорудами, викидами токсинів у повітря та водоймища привели до високих концентрацій у ґрунті та воді хімічних компонентів, радіоізотопів та токсинів. Сільськогосподарські регіони додають до цього цілий арсенал хімічних сполук, бактерій та інших токсинів, що забруднюють джерела водопостачання.

2.3 Модульна система отримання очищеної води для гемодіалізу

Існує декілька способів очистки води від розчинених в ній домішок, але їх роль в процесі деконтамінації відрізняється. Найефективніше вода очищується методами фільтрації, але загальноприйнято воду для гемодіалізу очищати поєднанням різних методів. Для цього використовують спеціальні системи водоочистки, приклад роботи такої описано нижче.

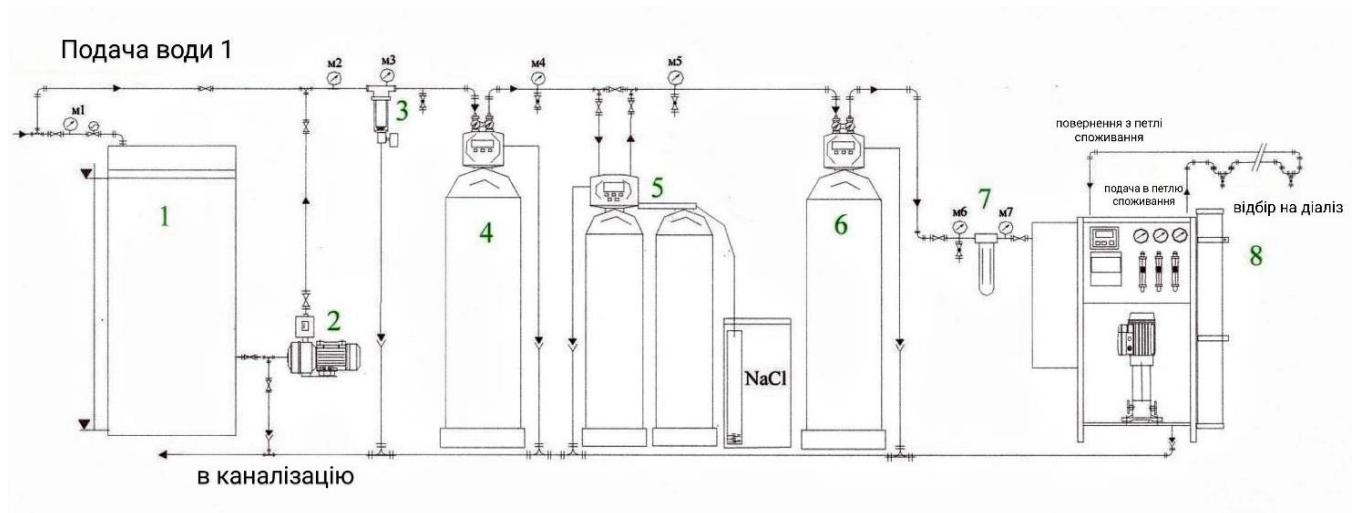


Рисунок 2.1 – Водопідготовка для гемодіалізу, принципова схема

1. Накопичувальна ємність води
2. Насосна станція
3. Механічний сітчастий фільтр
4. Автоматична система мультимедіа фільтрації
5. Система пом'якшення безперервної дії
6. Автоматична система сорбційного очищення
7. Картриджний механічний фільтр
8. Система зворотного осмосу

Робота системи, попереднє очищення води

Вихідна водопровідна вода надходить у накопичувальну пластикову ємність. (1). На лінії наповнення встановлений нормально закритий кульовий вентиль з електроприводом, який працює за сигналом електричного поплавця рівня **MAC-3**, вмонтованого в ємність. Установка накопичувальної ємності

необхідна для стабільної подачі вихідної води на систему фільтрації, при перебоях у подачі міської води. Тиск води на лінії наповнення ємності контролюється манометром м1.

З накопичувальної ємності вихідна вода за допомогою автоматичної насосної станції (2) подається на механічний сітчастий фільтр грубої очистки (3), де відбувається видалення механічних частинок розміром більше 100 мікрон, які можуть бути присутніми у воді. Фільтруючий елемент промивається в автоматичному режимі за допомогою програмованого приводу зворотного промивання. Падіння тиску на механічному фільтрі визначається різницею показань манометрів (м2 і м3). Для відбору проб води після механічного фільтра передбачено кран-пробовідбірник.

Далі вода надходить на систему мультимедійної фільтрації **MPV 1465**(4), де відбувається очищення води від механічних та колоїдних домішок, розмірами понад 5 мкм, окисленого заліза, зниження кольоровості та каламутності. Система складається з напірного корпусу, наповненого фільтруючим матеріалом, та автоматичного клапана **Filter-AgPlus (США)** та автоматичного клапана управління **ClackWS1TC (США)**. Система працює в автоматичному режимі. Клапан управління здійснює очищення фільтруючого матеріалу від накопичених забруднень за допомогою промивання зворотним потоком води. Падіння тиску на системі мультимедійної фільтрації визначається різницею показань манометрів (м3 і м4). Для відбору проб води після системи мультимедійної фільтрації передбачено кран-пробовідбірник.

Далі вода надходить у систему пом'якшення безперервної дії **UPV-1252 Twin** (5), призначену видалення солей жорсткості методом іонного обміну. Конструктивно пом'якшувач складається з двох однакових напірних ємностей 1054 з іонообмінною смолою **Lewatit S1567 (Bayer AG, Німеччина)**, які приєднані до загального автоматичного електронного модуля управління **Clack WSITT (США)** та загального сольового бака.

Система побудована за схемою "Twin". При такій схемі система складається з двох паралельно включених фільтрів, при цьому працює тільки

один з них, а другий знаходиться в режимі регенерації або очікування. Після пом'якшення певного обсягу води модуль управління автоматично запускає режим регенерації ємності, що виробила свій ресурс, і включає в роботу ємність, яка до цього знаходилася в резерві. Падіння тиску на пом'якшувачі визначається за різницею показань манометрів (м4 і м5). Для відбору проб води після системи пом'якшення передбачено кран-пробовідбірник.

Далі вода надходить на автоматичну установку сорбційної очистки **СР-1465** (6), де відбувається видалення залишкового активного хлору, хлорорганічних сполук та органічних домішок. Система складається з напірного корпусу 1354 із завантаженням з активованого вугілля **Aquacarb 607C 12x30 (Chemviron Carbon, Бельгія)** та автоматичного клапана керування **WS1TC (США)**. Система працює в автоматичному режимі. Клапан управління здійснює очищення та розпушування фільтруючого матеріалу за допомогою промивання зворотним потоком води. Падіння тиску на вугільному фільтрі визначається різницею показань манометрів (м5 і м6). Для відбору проб води після системи сорбційного очищення передбачено кран-пробовідбірник.

Перед подачею води на систему зворотного осмосу встановлений картриджний фільтр тонкого очищення **BIG BLUE 20** (7) з поліпропіленовим фільтруючим елементом 5 мкм. Падіння тиску на фільтрі визначається різницею показань манометрів (м6 і м7).

Приготування очищеної води

Після попередньої фільтрації вода надходить на систему зворотного осмосу **PVRO-480** (8), продуктивністю по очищеній воді 480 л/год (при температурі води живлення 25°C). Система зворотного осмосу дозволяє витягувати з води до 99,5% розчинених солей, видаляти мікроорганізми та віруси, а також органічні речовини.

Очищена вода після системи зворотного осмосу безпосередньо подається до циркуляційної петлі, з якої запитані діалізні апарати. Невикористана очищена вода повертається назад на вхід до системи зворотного осмосу.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Вибір учасників експерименту

Порадившись зі спеціалістами у даній сфері було визначено такі критерії включення та виключення учасників для проведення дослідження.

Визначення критеріїв включення

1. Загальні критерії:

- **Діагноз:** Учасники повинні мати конкретний медичний діагноз, що вимагає процедури гемодіафільтрації.

2. Стан здоров'я:

- Визначити параметри функції органів, такі як нирки та серце, які вказують на необхідність ефективного лікування.

3. Попередні процедури:

- Врахувати історію проведення гемодіафільтрації та гемодіалізу, щоб виключити вплив попередніх процедур на результати.

Визначення критеріїв виключення

1. Важкі супутні захворювання:

- Виключити осіб із важкими супутніми захворюваннями, такими як рак, які можуть спотворити результати.

2. Непереносимість процедури:

- Врахувати непереносимість процедури гемодіафільтрації.

3. Інші фактори ризику:

- Врахувати фактори ризику такі як вірусні захворювання, що можуть впливати на результати досліджень.

4. Невідповідність учасників:

- Виключити учасників, які можуть не дотримуватися протоколу дослідження або мають інші обставини, які можуть впливати на об'єктивність результатів.

Цей розділ допомагає стандартизувати включення та виключення учасників, забезпечуючи, що наша група буде репрезентативною для цілей дослідження та одночасно зберігає безпеку та етичні стандарти. За даними критеріями було зроблено вибірку з шести пацієнтів які будуть приймати участь в дослідженні.

3.2 Опис проведення процедур

1. Для початку потрібно провести адекватну оцінку фізичного стану учасників перед початком процедури.

2. На апарат «штучна нирка» кріпиться діалізатор, навішуються кровопровідні магістралі та підготовлюється концентрат для діалізуючого розчину.

3. Перед початком процедури апарат проводить автоматичне самотестування всіх функцій для забезпечення безпеки процедури.

4. Після успішного самотестування система заповнюється фізіологічним розчином, магістраль крові промивається і автоматично тестується на можливі витіки.

5. Підключення пацієнта: артеріальна магістраль підключається до пацієнта після чого вмикається насос крові і з заданою швидкістю кров починає заповнювати систему витісняючи із неї фізіологічний розчин, в цей час вводиться потрібна доза антикоагулянта (гепарин), потім до пацієнта підключається венозна магістраль. Діалізний апарат переходить в основний режим і діаліз починається.

6. Лікар, який здійснює процедуру гемодіалізу, регулює або встановлює параметри, такі як швидкість кровопотоку (в діапазоні від 150 до 350 мл/хв), потік діалізуючого розчину (500-700 мл/хв), швидкість потоку

заміщення, провідність та температуру діалізуючого розчину (від 36 до 38 градусів Цельсія), а також визначає час та об'єм ультрафільтрації.

3.3 Збір даних

В якості даних дослідження було взято результати аналізів сечовини, креатиніну, калію та показники артеріального тиску пацієнтів.

Щомісяця перед початком діалізу та вкінці діалізу у пацієнтів брали біохімічний аналіз крові, щоб визначити концентрацію сечовини та креатиніну за допомогою стандартних лабораторних методів. Пацієнтам вимірювали артеріальний тиск перед, під час і після гемодіалізу та гемодіафільтрації, результати записуються у медичну карту хворого.

Аналіз на калій пацієнти здавали самостійно в приватних лабораторіях оскільки лікарня не надає такої можливості.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження проводилось за результатами аналізів пацієнтів обласної лікарні. Взято групу з шести пацієнтів, що проходили лікування на обох процедурах, а саме: звичайний гемодіаліз та гемодіафільтрація. Для отримання найбільш об'єктивних даних у вибірку було взято результати аналізів після періоду лікування щонайменше в два тижні для кожної з процедур.

Таблиця 4.1 – Результати аналізів для першого пацієнта за 5 місяців (ГД)

Місяць	Креатинін до мкмоль/л	Креатинін після мкмоль/л	Сечовина до мкмоль/л	Сечовина після мкмоль/л
1	1009	407	27,9	10,2
2	823	336	27,6	10,9
3	1048	434	37,0	13,4
4	1016	401	35,7	9,8
5	1014	396	45,5	14,1

Таблиця 4.2 – Результати аналізів для першого пацієнта за 5 місяців (ГДФ)

Місяць	Креатинін до мкмоль/л	Креатинін після мкмоль/л	Сечовина до мкмоль/л	Сечовина після мкмоль/л
1	772	279	25,8	6,7
2	960	318	31,6	6,7
3	732	202	22,6	7,7
4	654	237	27,8	8,2
5	769	193	24,9	7,6

Таблиця 4.3 – Результати аналізів для другого пацієнта за 5 місяців (ГД)

Місяць	Креатинін до мкмоль/л	Креатинін після мкмоль/л	Сечовина до мкмоль/л	Сечовина після мкмоль/л
1	1138	445	45,3	14,0
2	954	385	34,0	11,1
3	1069	515	30,8	13,6
4	1124	464	33,0	12,0
5	1214	452	33,2	12,2

Таблиця 4.4 – Результати аналізів для другого пацієнта за 5 місяців (ГДФ)

Місяць	Креатинін до мкмоль/л	Креатинін після мкмоль/л	Сечовина до мкмоль/л	Сечовина після мкмоль/л
1	1118	313	25,8	8,6
2	986	328	35,6	8,8
3	1013	406	32,0	8,5
4	946	306	31,6	7,8
5	862	272	26,7	7,7

Таблиця 4.5 – Результати аналізів для третього пацієнта за 5 місяців (ГД)

Місяць	Креатинін до мкмоль/л	Креатинін після мкмоль/л	Сечовина до мкмоль/л	Сечовина після мкмоль/л
1	1244	521	25,5	11,3
2	1003	461	34,9	14,0
3	1093	413	38,6	12,7
4	1038	425	46,0	15,8
5	929	410	38,8	12,0

Таблиця 4.6 – Результати аналізів для третього пацієнта за 5 місяців (ГДФ)

Місяць	Креатинін до мкмоль/л	Креатинін після мкмоль/л	Сечовина до мкмоль/л	Сечовина після мкмоль/л
1	1004	378	31,3	9,8
2	855	366	36,3	11,1
3	876	403	39,3	11,8
4	830	363	38,1	10,5
5	899	315	34,4	10,1

Таблиця 4.7 – Результати аналізів для четвертого пацієнта за 5 місяців (ГД)

Місяць	Креатинін до мкмоль/л	Креатинін після мкмоль/л	Сечовина до мкмоль/л	Сечовина після мкмоль/л
1	931	382	37,9	15,0
2	850	396	25,1	9,8
3	1040	441	30,4	11,6
4	801	387	28,0	10,6
5	945	395	40,3	12,5

Таблиця 4.8 – Результати аналізів для четвертого пацієнта за 5 місяців (ГДФ)

Місяць	Креатинін до мкмоль/л	Креатинін після мкмоль/л	Сечовина до мкмоль/л	Сечовина після мкмоль/л
1	721	318	21,0	6,8
2	694	247	24,1	6,4
3	764	327	29,1	8,6
4	736	334	24,4	7,8
5	845	293	26,4	8,3

Таблиця 4.9 – Результати аналізів для п'ятого пацієнта за 5 місяців (ГД)

Місяць	Креатинін до мкмоль/л	Креатинін після мкмоль/л	Сечовина до мкмоль/л	Сечовина після мкмоль/л
1	865	318	26,2	8,0
2	829	371	38,0	11,8
3	736	356	34,1	10,0
4	856	360	36,3	10,2
5	793	321	34,6	9,3

Таблиця 4.10 – Результати аналізів для п'ятого пацієнта за 5 місяців (ГДФ)

Місяць	Креатинін до мкмоль/л	Креатинін після мкмоль/л	Сечовина до мкмоль/л	Сечовина після мкмоль/л
1	736	254	23,9	2,9
2	558	252	29,7	6,5
3	656	237	30,5	7,7
4	576	116	26,5	6,8
5	666	244	20,4	5,9

Таблиця 4.11 – Результати аналізів для шостого пацієнта за 5 місяців (ГД)

Місяць	Креатинін до мкмоль/л	Креатинін після мкмоль/л	Сечовина до мкмоль/л	Сечовина після мкмоль/л
1	821	422	33,7	14,5
2	780	397	33,5	16,2
3	766	419	35,2	15,0
4	836	456	36,2	15,7
5	803	388	34,0	14,2

Таблиця 4.12 – Результати аналізів для шостого пацієнта за 5 місяців (ГДФ)

Місяць	Креатинін до мкмоль/л	Креатинін після мкмоль/л	Сечовина до мкмоль/л	Сечовина після мкмоль/л
1	665	321	29,0	10,6
2	613	308	26,8	11,3
3	683	296	28,3	9,8
4	632	332	30,0	11,3
5	601	309	26,4	10,1

Щоб зробити дослідження більш детальним також було взято результати аналізів калію кожного з вище згаданих пацієнтів так як його молекули є досить великі за розміром і важко піддаються виведенню через мембрану діалізатора при штатному гемодіалізі.

Таблиця 4.13 – Результати аналізів калію для шести пацієнтів

Пацієнт №	Гемодіаліз		Гемодіафільтрація	
	Калій до діалізу	Калій після діалізу	Калій до діалізу	Калій після діалізу
1	6,2	4,9	6,0	4,5
2	6,9	5,2	6,6	4,8
3	6,7	5,4	6,5	5,0
4	6,7	4,9	6,5	4,5
5	5,7	4,1	5,4	3,7
6	7,1	5,6	6,8	4,9

Додатково було здійснено аналіз впливу кожної з процедур на показники артеріального тиску пацієнтів.

Таблиця 4.14 – Показники артеріального тиску трьох пацієнтів під час проходження процедури гемодіалізу та гемодіафільтрації протягом п'ятнадцяти днів

	пацієнт №1		пацієнт №2		пацієнт №3	
	ГД	ГДФ	ГД	ГДФ	ГД	ГДФ
1	110/70	130/80	150/80	140/80	100/60	120/80
2	150/90	120/70	120/70	140/80	100/60	120/80
3	130/80	120/70	140/80	130/80	120/80	120/70
4	110/80	130/80	160/80	120/80	100/60	120/70
5	150/80	140/80	110/70	140/80	110/60	120/80
6	140/80	120/70	130/80	130/80	110/60	120/70
7	150/80	130/80	160/90	140/80	110/70	120/80
8	150/80	140/80	140/80	130/80	100/60	110/70
9	170/100	140/80	130/80	130/80	90/60	120/80
10	160/90	120/80	170/100	120/80	100/60	110/70
11	150/80	140/80	140/90	140/80	100/60	120/70
12	200/90	120/70	100/60	140/80	110/70	120/80
13	140/80	150/80	140/90	140/80	110/60	110/70
14	140/90	120/70	150/90	130/80	100/60	110/70
15	130/80	130/80	150/80	130/80	110/80	120/80

РОЗДІЛ 5

СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ДАНИХ

За результатами дослідження визначимо на скільки ж процедура гемодіафільтрації є більш ефективною за звичайний гемодіаліз. Для цього використаємо загальноприйнятий показник для оцінки ефективності гемодіалізу при лікуванні хвороб нирок – Kt/V .

Kt/V є характеристичним значенням ефективності діалізу. Він включає в себе три параметри:

K – (Clearance): Показує, яку кількість крові проходить через діалізатор та очищується від токсинів за одиницю часу.

t – (time): Час діалізу або тривалість процедури.

V – (Volume of distribution of urea): Об'єм розподілу сечовини, який вказує на обсяг води, в якому розподілена сечовина в організмі.

У зв'язку з обмеженнями, властивими цьому розрахунку, для спрощення оцінки дози діалізу було розроблено дві формули, засновані на використанні двох зразків крові, причому один зразок відбирається до початку процедури діалізу, а другий після її завершення. Після визначення кількості сечовини в крові в обох зразках для розрахунку однопулового Kt/V ($spKt/V$) можна використовувати таку формулу:

$$\frac{spKt}{V} = -\ln\left(\frac{C_t}{C_0} - 0.008 * t\right) + \left(4 - 3.5 * \frac{C_t}{C_0}\right) * \frac{UF}{W}$$

C_0 – Концентрація сечовини в крові до діалізу

C_t – Концентрація сечовини у крові після діалізу

t – Час діалізу [год]

UF – об'єм ультрафільтрації [л]

W – Маса пацієнта після діалізу

Для компенсації ефекту вирівнювання концентрації сечовини після закінчення $spKt/V$ можна використовувати в наступній формулі, щоб отримати врівноважений показник Kt/V (eKt/V):

$$\frac{eKt}{V} = \frac{spKt}{V} - 0.6 * \frac{spKt}{V} + 0.03$$

Kt/V може значно відрізнятись від лікування до лікування залежно від змінних, пов'язаних із пацієнтом та процедурою. Отже, рекомендована мінімальна доза діалізу, що проводиться три рази на тиждень це eKt/V 1,2 або $spKt/V$ 1,4. Результати розрахунків занесемо до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Ефективність гемодіалізу та гемодіафільтрації за показником Kt/V

Пацієнт №	Вид лікування	Ефективність за показником Kt/V за 5 місяців					Сер. значення
		1	2	3	4	5	
1	ГД	1.24	1.15	1.25	1.58	1.44	1.33
	ГДФ	1.64	1.89	1.32	1.49	1.45	1.56
2	ГД	1.46	1.39	1.04	1.26	1.25	1.28
	ГДФ	1.37	1.72	1.64	1.72	1.54	1.60
3	ГД	1.01	1.12	1.35	1.30	1.42	1.24
	ГДФ	1.41	1.44	1.46	1.56	1.48	1.47
4	ГД	1.14	1.15	1.18	1.19	1.42	1.22
	ГДФ	1.37	1.60	1.48	1.38	1.40	1.45
5	ГД	1.46	1.44	1.51	1.56	1.61	1.52
	ГДФ	2.62	1.86	1.69	1.67	1.53	1.87
6	ГД	1.05	0.91	1.06	1.04	1.08	1.03
	ГДФ	1.24	1.07	1.30	1.20	1.18	1.20

Для наглядності побудуємо діаграму ефективності процедур. Для цього візьмемо середнє значення Kt/V за 5 місяців для кожної процедури.

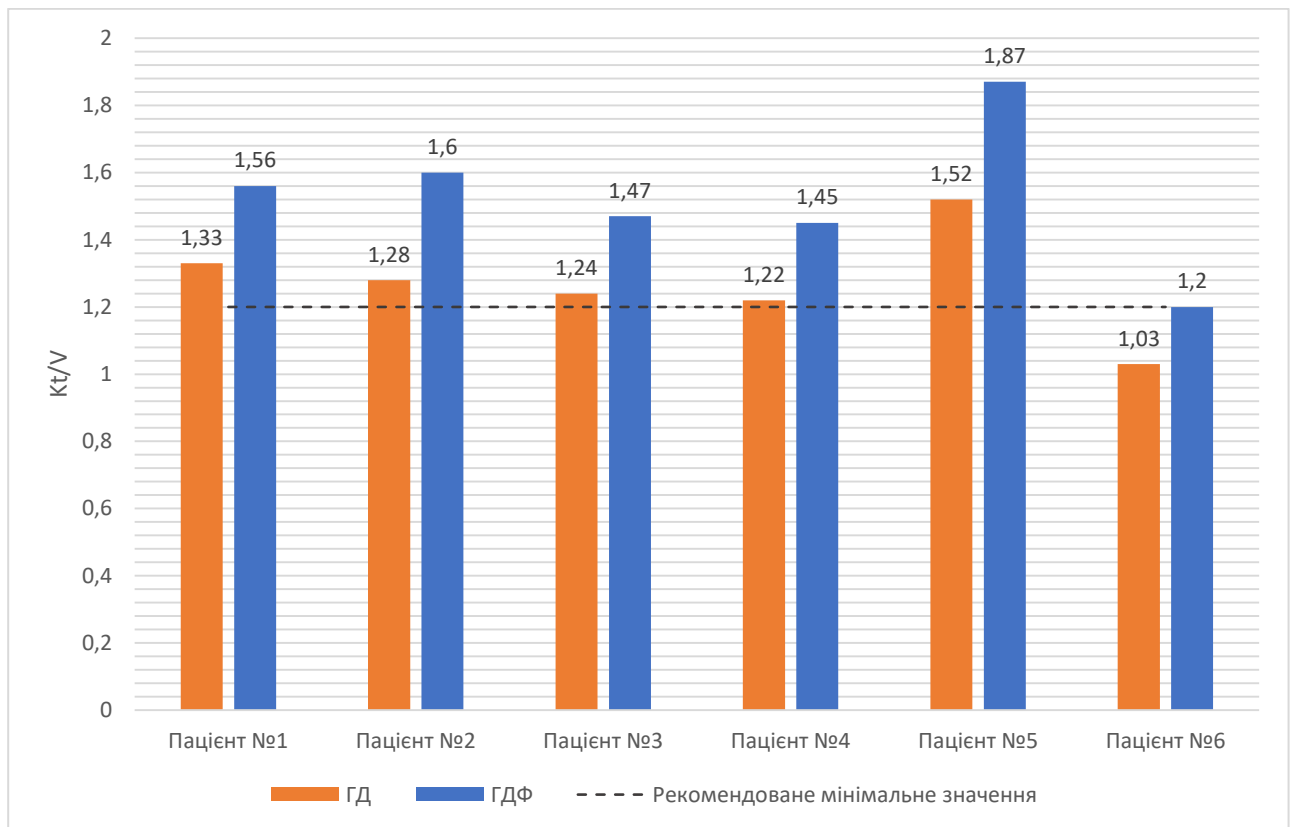


Рисунок 5.1 – Діаграма ефективності процедур за показником Kt/V

За результатами розрахунків можна визначити, що значення Kt/V для ГДФ є вищими за такі у звичайного гемодіалізу, це означає що процес гемодіафільтрації дозволяє більш ефективно видаляти сечовину з крові пацієнта. Звичайно для кожного окремого пацієнта вони є різними але в цілому бачимо тенденцію на перевагу процедури гемодіафільтрації.

Також проаналізуємо ефективність обох процедур за результатами аналізів креатиніну. Для отримання цього показника беремо результат аналізу перед процедурою гемодіалізу та ділимо його на результат після процедури. Зазначимо, що індивідуальна реакція на обидві процедури може варіювати, і вищезгадані переваги гемодіафільтрації можуть не бути однаково вираженими для всіх пацієнтів. Отримані розрахунки занесемо до таблиці 5.2:

$$\text{Еф. процедури} = \frac{\text{Кср. до ГД}}{\text{Кср. після ГД}}$$

Кср. – середнє значення креатиніну за 5 місяців.

За цією ж формулою обчислюємо ефективність для іншої процедури.

Таблиця 5.2 – Ефективність процедур для першого пацієнта за 5 місяців

Місяць	Гемодіаліз		Гемодіафільтрація	
	Креат. до мкмоль/л	Креат. після мкмоль/л	Креат. до мкмоль/л	Креат. після мкмоль/л
1	1009	407	772	279
2	823	336	960	318
3	1048	434	732	202
4	1016	401	654	237
5	1014	396	769	193
Сер. значення	982	395	777	246
Коеф. ефективності	2.49		3.16	

Таблиця 5.3– Ефективність процедур для другого пацієнта за 5 місяців

Місяць	Гемодіаліз		Гемодіафільтрація	
	Креат. до мкмоль/л	Креат. після мкмоль/л	Креат. до мкмоль/л	Креат. до мкмоль/л
1	1138	445	1118	313
2	954	385	986	328
3	1069	515	1013	406
4	1124	464	946	306
5	1214	452	862	272
Сер. значення	1100	452	985	325
Коеф. ефективності	2.43		3.03	

Таблиця 5.4 – Ефективність процедур для третього пацієнта за 5 місяців

Місяць	Гемодіаліз		Гемодіафільтрація	
	Креат. до мкмоль/л	Креат. після мкмоль/л	Креат. до мкмоль/л	Креат. до мкмоль/л
1	1244	521	1004	378
2	1003	461	855	366
3	1093	413	876	403
4	1038	425	830	363
5	929	410	899	315
Сер. значення	1061	446	893	365
Коеф. ефективності	2.38		2.45	

Таблиця 5.5– Ефективність процедур для четвертого пацієнта за 5 місяців

Місяць	Гемодіаліз		Гемодіафільтрація	
	Креат. до мкмоль/л	Креат. після мкмоль/л	Креат. до мкмоль/л	Креат. до мкмоль/л
1	931	382	721	318
2	850	396	694	247
3	1040	441	764	327
4	801	387	736	334
5	945	395	845	293
Сер. значення	914	400	752	304
Коеф. ефективності	2.29		2.47	

Таблиця 5.6 – Ефективність процедур для п'ятого пацієнта за 5 місяців

Місяць	Гемодіаліз		Гемодіафільтрація	
	Креат. до мкмоль/л	Креат. після мкмоль/л	Креат. до мкмоль/л	Креат. до мкмоль/л
1	865	318	736	254
2	829	371	558	252
3	736	356	656	237
4	856	360	576	116
5	793	321	666	244
Сер. значення	816	345	638	221
Коеф. ефективності	2.37		2.89	

Таблиця 5.7– Ефективність процедур для шостого пацієнта за 5 місяців

Місяць	Гемодіаліз		Гемодіафільтрація	
	Креат. до мкмоль/л	Креат. після мкмоль/л	Креат. до мкмоль/л	Креат. до мкмоль/л
1	821	422	665	321
2	780	397	613	308
3	766	419	683	296
4	836	456	632	332
5	803	388	601	309
Сер. значення	801	416	639	313
Коеф. ефективності	1.93		2.04	

Щоб наглядно побачити різницю побудуймо графік залежності за креатиніном для кількох пацієнтів.

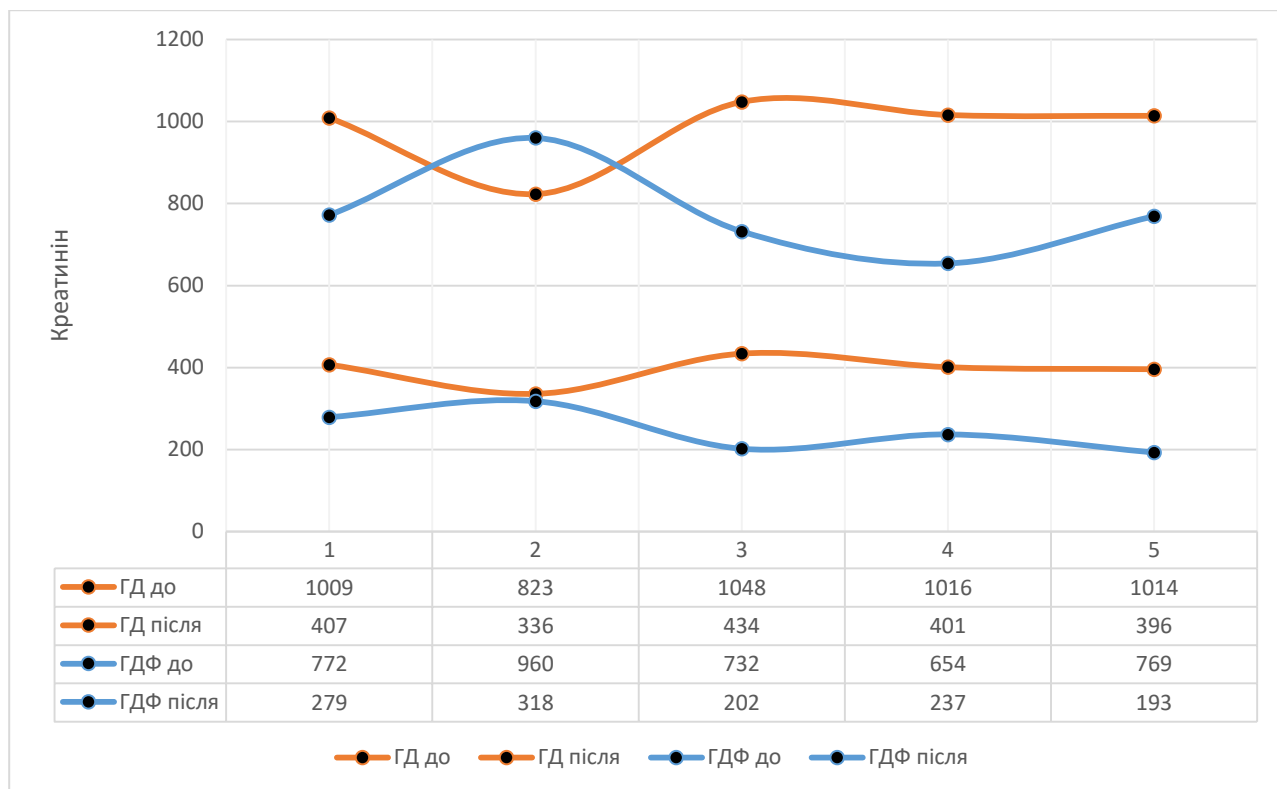


Рисунок5.2– Графік залежності креатиніну до і після двох процедур для першого пацієнта за 5 місяців

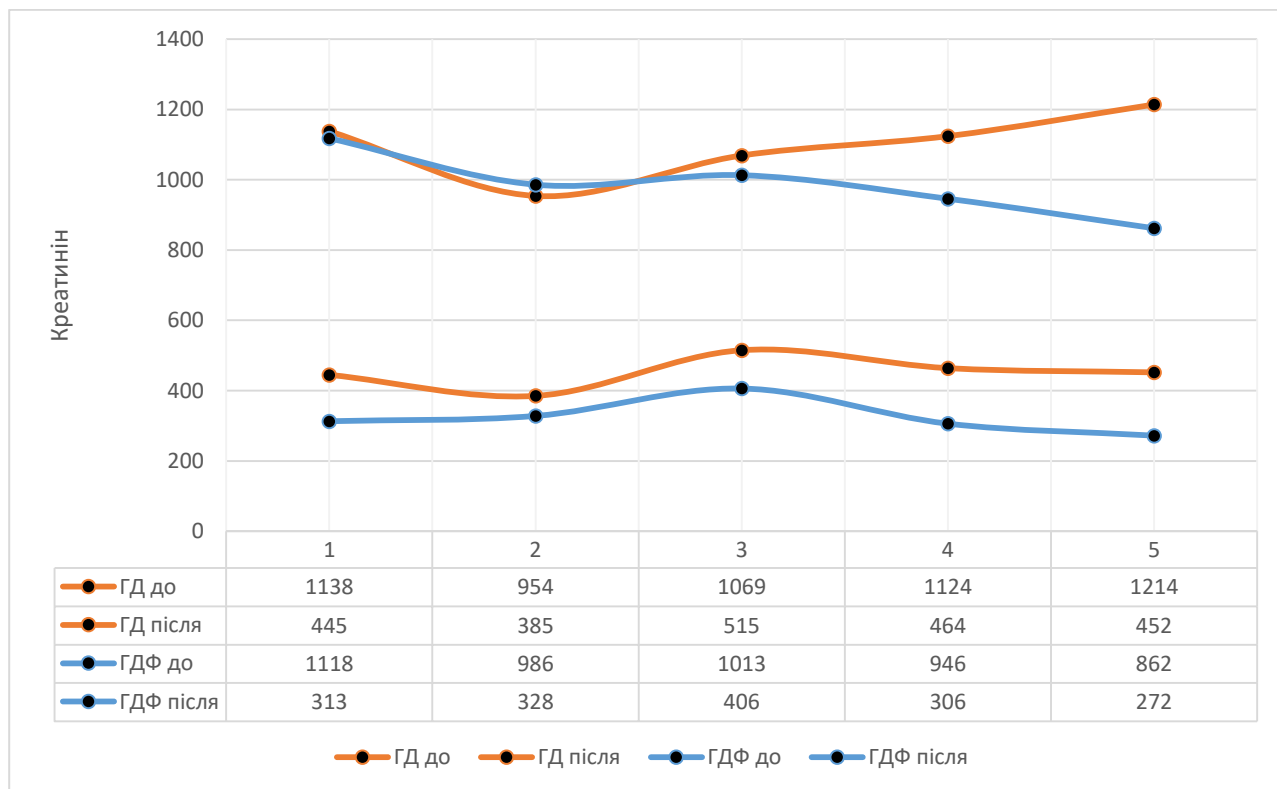


Рисунок5.3– Графік залежності креатиніну до і після двох процедур для другого пацієнта за 5 місяців

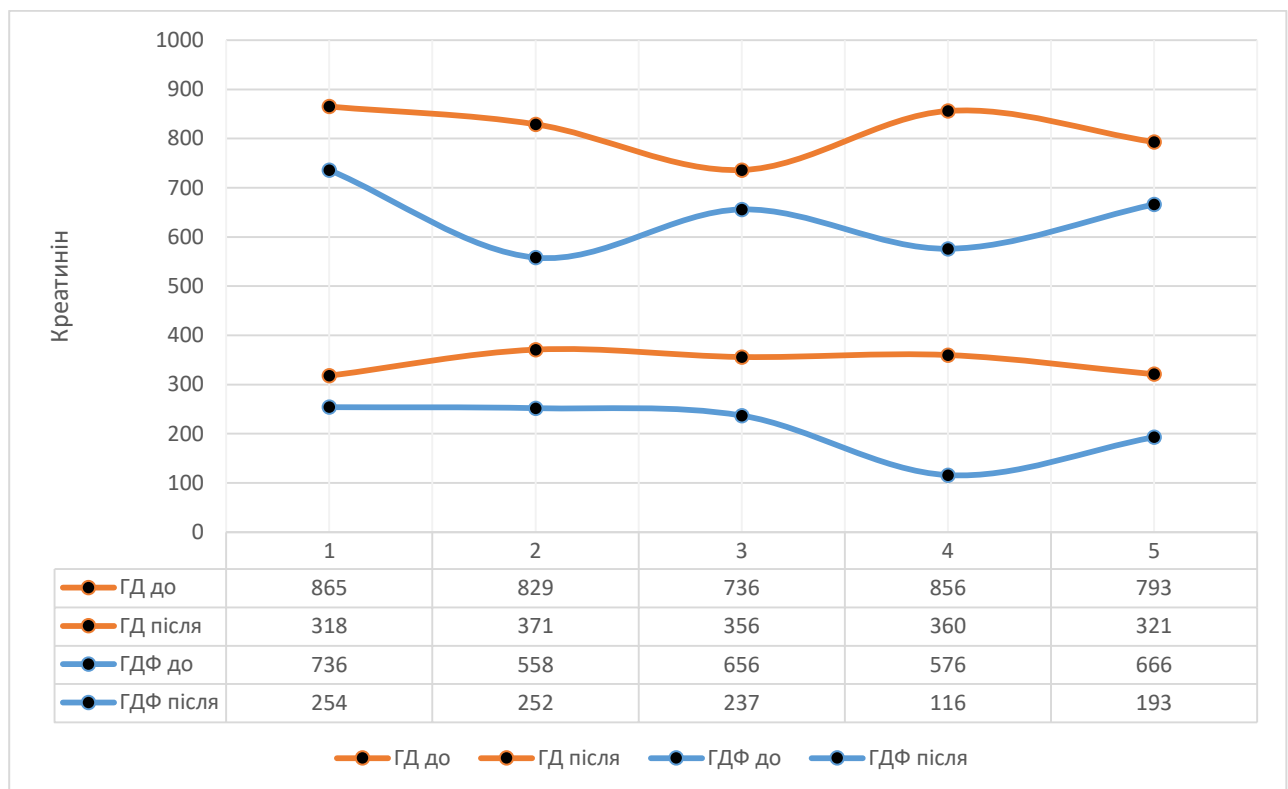


Рисунок 5.4– Графік залежності креатиніну до і після двох процедур для п'ятого пацієнта за 5 місяців

Із зроблених нами розрахунків та графіків видно, що гемодіафільтрація виявляється більш ефективною у видаленні креатиніну з крові пацієнта порівняно з гемодіалізом. При цьому можемо бачити що значення креатиніну для гемодіафільтрації є меншим як після проведення процедури так і до неї, що зумовлено «продовжувальним ефектом» попередніх сесій. Це означає, що вплив попередніх сесій гемодіафільтрації може тривати, що призводить до зниження рівня креатиніну перед новою процедурою.

Проведемо такі ж розрахунки для результатів аналізів калію

$$\text{Еф. процедури} = \frac{\text{Калій до ГД}}{\text{Калій після ГД}}$$

Аналогічно для іншої процедури. Результати запишемо до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Ефективність процедур за результатами аналізів калію для шести пацієнтів

Пацієнт №	Гемодіаліз			Гемодіафільтрація		
	Калій до діалізу	Калій після діалізу	Коеф. ефективності	Калій до діалізу	Калій після діалізу	Коеф. ефективності
1	6,2	4,9	1.27	6,0	4,5	1.33
2	6,9	5,2	1.33	6,6	4,8	1.38
3	6,7	5,4	1.24	6,5	5,0	1.30
4	6,7	4,9	1.37	6,5	4,5	1.44
5	5,7	4,1	1.40	5,4	3,7	1.46
6	7,1	5,6	1.27	6,8	4,9	1.39
Сер. значення	6.55	5.02	1.30	6.30	4.56	1.38

Побудуймо діаграму щоб наглядно побачити вплив кожної з процедур на результати аналізів пацієнтів.

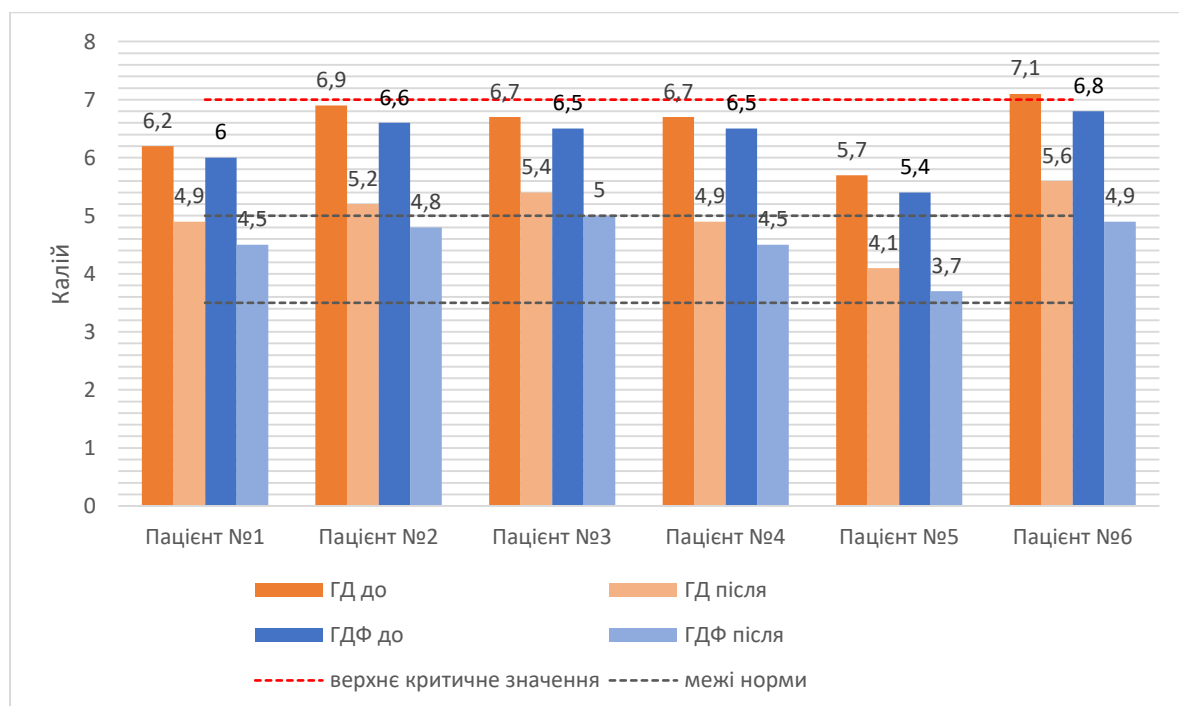


Рисунок 5.5 – Діаграма зарезультатами аналізів калію до і після двох процедур для шести пацієнтів

Спостерігаємо ту ж картину що й з креатиніном. Гемодіафільтрація дійсно краще виводить калій з організму людини, й на діаграмі можна побачити що калій після проведення ГДФ завжди залишався в межах норми, що є дуже важливо. Високий рівень калію в крові, відомий як гіперкаліємія, є серйозним медичним станом, оскільки калій грає ключову роль у фізіології клітин та серцевого м'яза. Якщо рівень калію перевищує норму (зазвичай в межах 3.5–5.0 ммоль/л), це може мати серйозні наслідки. При значеннях більше 7 ммоль/л важливо швидко реагувати, оскільки можуть виникнути небезпечні умови. Ось деякі наслідки гіперкаліємії:

- Високий рівень калію може викликати серйозні аритмії серця, включаючи фібриляцію життєважливих камер серця (шок) та зупинку серця.
- Калій взаємодіє з електричним потенціалом клітин, зокрема клітин м'язів, включаючи серцевий м'яз. Значення більше 7 ммоль/л може змінити електричну ексцитабельність клітин, що призводить до ненормальних серцевих ритмів.
- Високий рівень калію може впливати на нервово-м'язову передачу, що може призвести до м'язової слабкості та, в рідкі випадках, паралічу.

5.1 Вплив гемодіалізу та гемодіафільтрації на артеріальний тиск пацієнтів

За результатами досліджень проаналізуємо, як гемодіаліз та гемодіафільтрація впливають на показники артеріального тиску пацієнтів. Для цього побудуємо графік, щоб наглядно побачити його зміни для обох процедур.

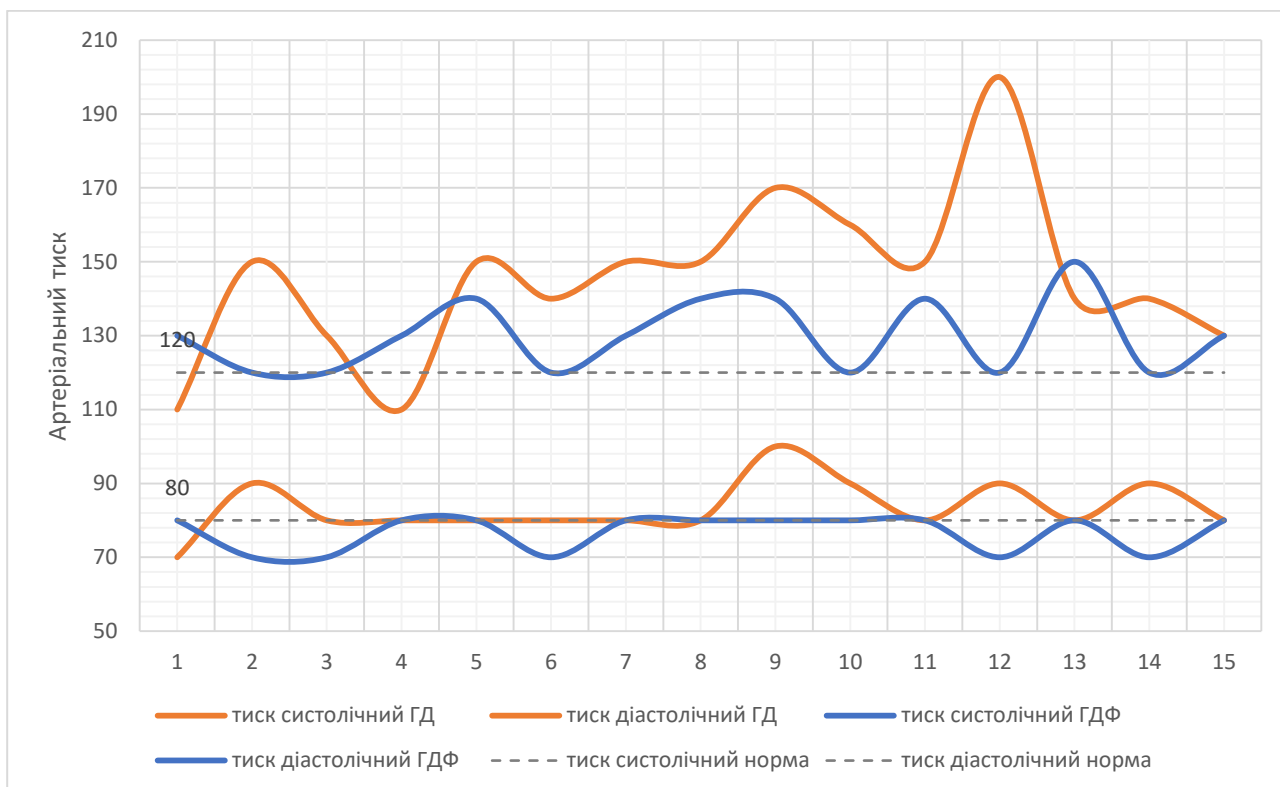


Рисунок 5.5 – Графік артеріального тиску для першого пацієнта протягом 15 днів

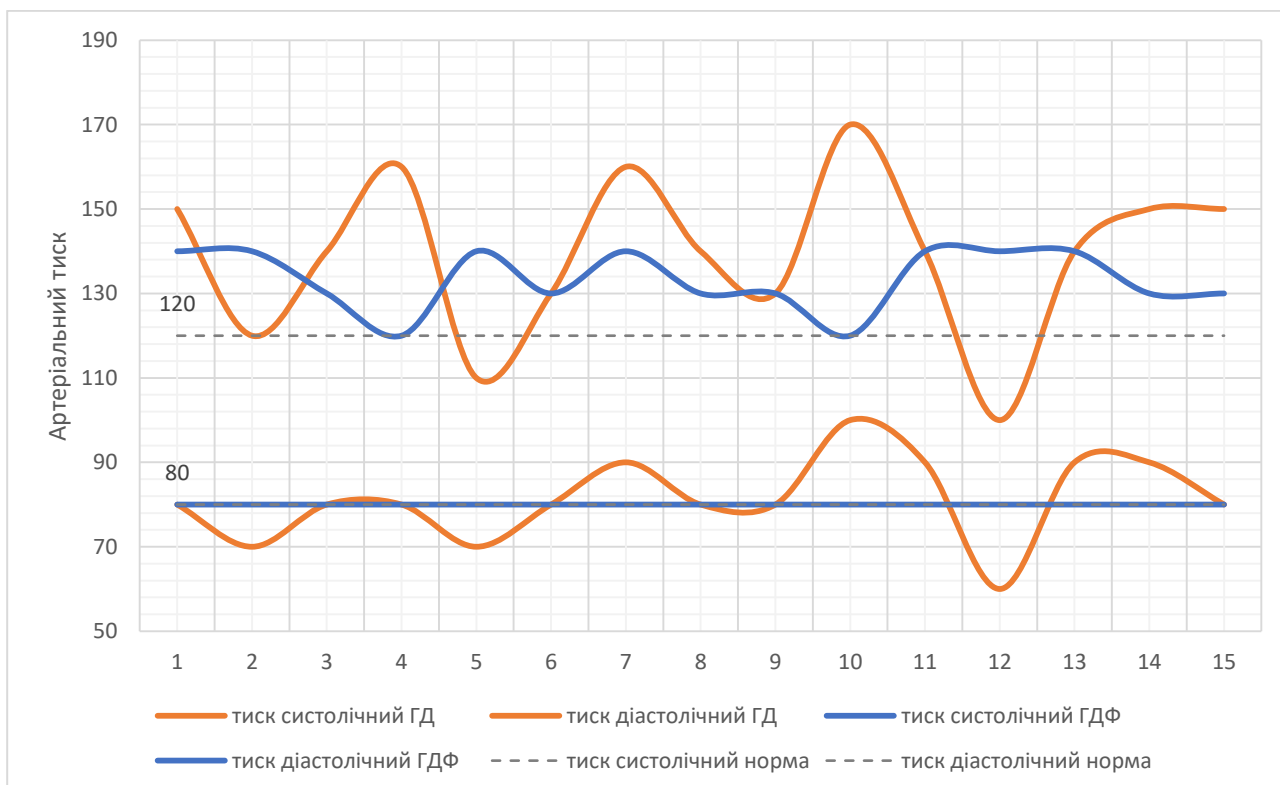


Рисунок 5.6 – Графік артеріального тиску для другого пацієнта протягом 15 днів

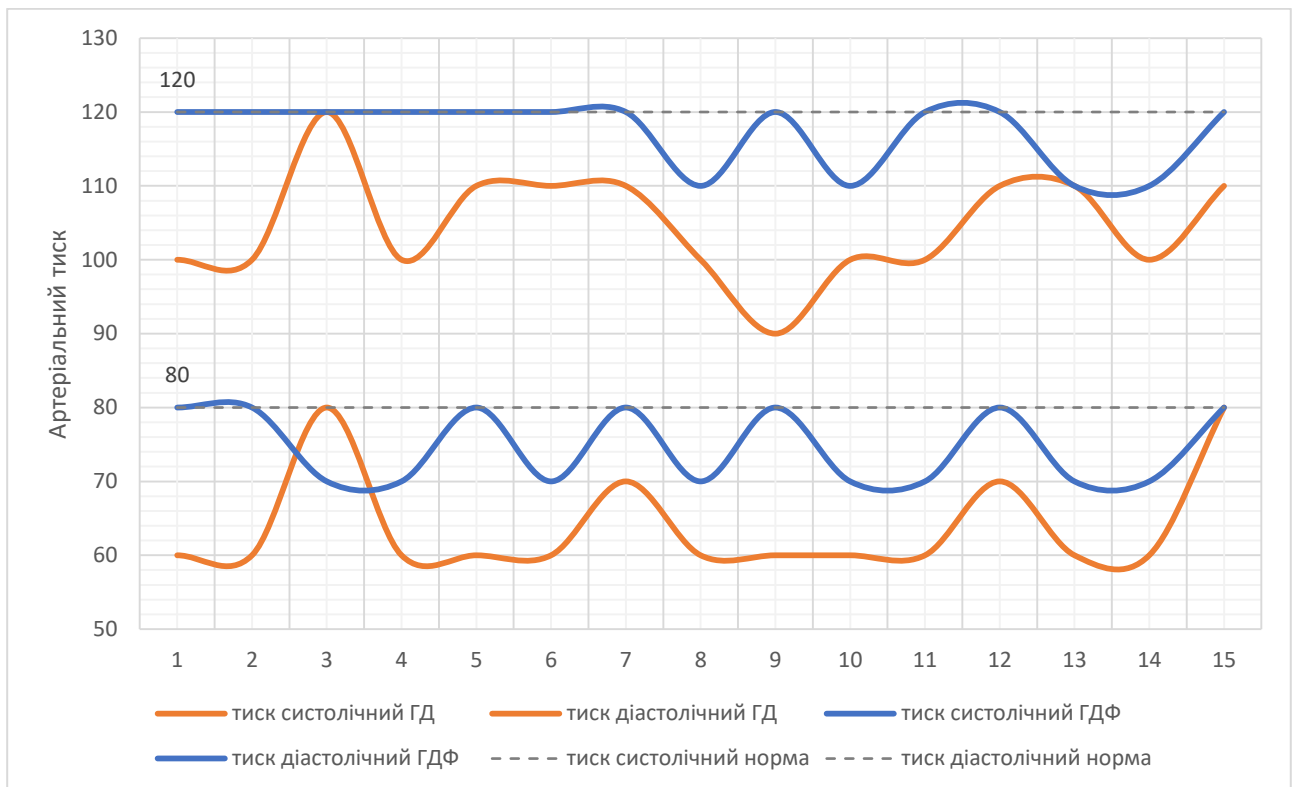


Рисунок 5.7 – Графік артеріального тиску для третього пацієнта протягом 15 днів

З графіків можна побачити що ГДФ сприяє нормалізації артеріального тиску (при ГД, як відомо, артеріальний тиск знижується, іноді досить значно). Падіння артеріального тиску (гіпотонія) відбувається тоді, коли в судинах залишається недостатній об'єм крові: вода з крові видаляється в діалізуючий розчин, а з міжклітинної рідини надходить недостатньо швидко. Серцю просто нема чим підняти тиск у судинах, тоді як при гемодіафільтрації вона певною мірою заміщується діалізуючим розчином (який у даної технології частково вводиться внутрішньовенно). Гіпотонія може бути важко переносимою або майже непомітна для різних пацієнтів, починатися поступово або раптово: річ у тому, що в організмі існують надійні способи компенсації зменшення об'єму крові, насамперед, це звуження судин у тих органах, які організм вважає в цю хвилину неважливими. Але в будь-якій компенсації існують межі можливого – і тоді артеріальний тиск падає.

5.2 Кореляційний аналіз

Кореляцією (кореляційним зв'язком) між випадковими величинами (ознаками) називають наявність статистичного або ймовірнісного зв'язку між ними. При цьому закономірна зміна певних ознак призводить до закономірної зміни середніх значень інших, пов'язаних з ними ознак.

Під кореляцією розуміють взаємозв'язок між двома або більше змінними (в останньому випадку кореляція називається множинною або сукупною). Кореляційна залежність оцінюється за силою та напрямком зв'язку. Для визначення сили зв'язку використовують різноманітні показники. Їх прагнуть вибрати такими, щоб вони змінювалися від -1 до $+1$ або від 0 до 1 .

Таблиця 5.9 – Схема оцінки сили та напрямку зв'язку за коефіцієнтом кореляції

Сила зв'язку	Направлення зв'язку	
	Прямий(+)	Зворотній(-)
Слабкий (низький)	Від 0 до + 0,29	Від 0 до – 0,29
Середній	Від + 0,3 до + 0,69	Від – 0,3 до – 0,69
Сильний (високий)	Від + 0,7 до +0,99	Від – 0,7 до – 0,99
Повний зв'язок	+1	-1
Зв'язок відсутній	0	0

Розрахунок кореляції будемо проводити за методом Пірсона.

Коефіцієнт кореляції Пірсона (коефіцієнт кореляційного відношення Пірсона, парний коефіцієнт кореляції, вибірковий коефіцієнт кореляції, коефіцієнт Бравайса – Пірсона) вимірює ступінь лінійного кореляційного зв'язку між кількісними скалярними ознаками. Коефіцієнт розраховують за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{cov(x, y)}{\sqrt{s_x^2 s_y^2}}$$

де $\bar{x}, \bar{y}$ – вибіркові середні x^m і y^m , s_x^2, s_y^2 – вибіркові дисперсії, $r_{xy} \in [-1, 1]$.

Коефіцієнт кореляції Пірсона може мати три основні варіанти:

1. Позитивна Кореляція:

Якщо коефіцієнт кореляції близький до $+1$, це вказує на сильний позитивний зв'язок між змінними. Це означає, що, зазвичай, коли значення однієї змінної зростає, значення іншої змінної також зростає. Наприклад, якщо ми аналізуємо зв'язок між часом вивчення та оцінками студентів, позитивна кореляція вказуватиме на те, що більше часу вивчення часто пов'язане з вищими оцінками.

2. Відсутність Кореляції (Близько До 0):

Коефіцієнт кореляції близький до 0 свідчить про відсутність лінійного зв'язку між змінними. Це означає, що зростання або зменшення однієї змінної не пов'язане зі зростанням або зменшенням іншої. Наприклад, якщо ми порівнюємо рівень знань з математики та кількість спожитих кавових напоїв, і отримуємо коефіцієнт кореляції близький до 0, це може вказувати на відсутність взаємозв'язку між цими двома змінними.

3. Негативна Кореляція:

Якщо коефіцієнт кореляції близький до -1 , це вказує на сильний негативний зв'язок. Це означає, що, зазвичай, коли значення однієї змінної зростає, значення іншої змінної зменшується. Наприклад, якщо аналізується зв'язок між кількістю витрачених годин на відпочинок і рівнем стресу, негативна кореляція вказуватиме на те, що більше відпочинку пов'язане з меншим рівнем стресу.

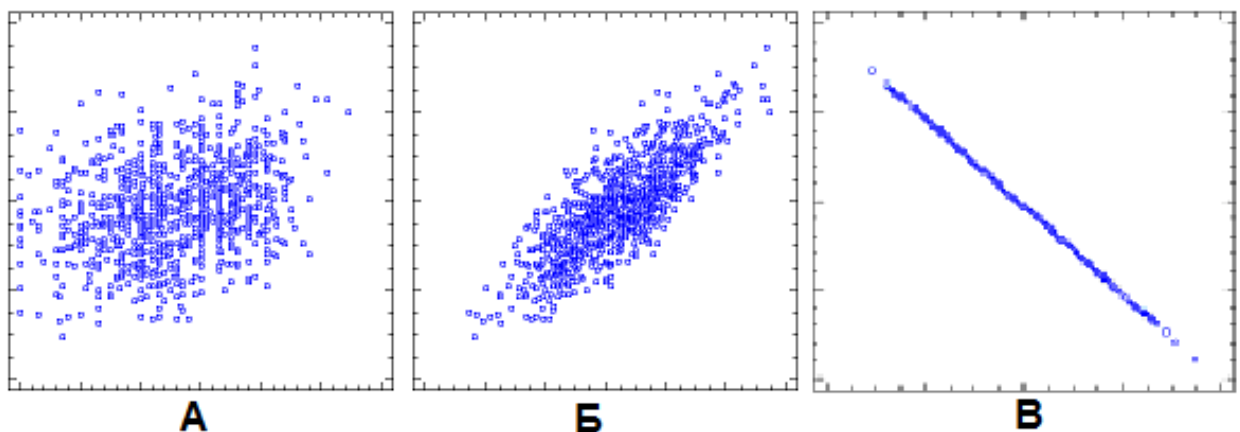


Рисунок 5.8 – Приклади скатетограми розсіяння емпіричних значень

Можна бачити, що на графіку А зв'язку між двома величинами практично немає – більшим значенням абсциси можуть відповідати як більші, так і менші значення ординати. Натомість, на графіку Б більшим значенням абсциси відповідають переважно більші значення ординати, тобто спостерігаємо позитивну кореляцію між аналізованими величинами. На графіку В усі точки скатерограми розташовані на одній лінії таким чином, що найменшим значенням абсциси відповідають найбільші значення ординати і навпаки. В такому випадку ми говоримо про найвищу ступінь кореляції – функціональний зв'язок між досліджуваними величинами, в даному випадку негативний.

Слід пам'ятати, що кореляція не завжди свідчить про причинно-наслідковий зв'язок, і інші фактори можуть впливати на взаємозв'язок між змінними. Кореляція вказує лише на статистичний зв'язок між ними.

Коефіцієнт кореляції Пірсона будемо проводити за допомогою програми Microsoft Excel так як вона має інтуїтивний інтерфейс, що дозволяє виконувати розрахунки без глибоких знань статистики чи програмування, і в неї вже є вбудована функція кореляції за Пірсоном.

Розрахуймо коефіцієнт кореляції для процедури гемодіалізу за результатами аналізів сечовини, креатиніну та калію що ми зібрали за 5 місяців для шести пацієнтів, щоб визначити ступінь взаємозв'язку між ними. Результати занесемо в таблицю 5.10.

Таблиця 5.10 – Аналіз коефіцієнтів кореляції за сечовиною та креатиніном для шести пацієнтів

Гемодіаліз			
Креатинін до, мкмоль/л	Креатинін після, мкмоль/л	Сечовина до, ммоль/л	Сечовина після, ммоль/л
1009	407	27,9	10,2
823	336	27,6	10,9
1048	434	37,0	13,4
1016	401	35,7	9,8

1014	396	45,5	14,1
1138	445	45,3	14,0
954	385	34,0	11,1
1069	515	30,8	13,6
1124	464	33,0	12,0
1214	452	33,2	12,2
1244	521	25,5	11,3
1003	461	34,9	14,0
1093	413	38,6	12,7
1038	425	46,0	15,8
929	410	38,8	12,0
931	382	37,9	15,0
850	396	25,1	9,8
1040	441	30,4	11,6
801	387	28,0	10,6
945	395	40,3	12,5
865	318	26,2	8,0
829	371	38,0	11,8
736	356	34,1	10,0
856	360	36,3	10,2
793	321	34,6	9,3
821	422	33,7	14,5
780	397	33,5	16,2
766	419	35,2	15,0
836	456	36,2	15,7
803	388	34,0	14,2
Коефіцієнт кореляції	0,69	Коефіцієнт кореляції	0,53

Таблиця 5.11 – Аналіз коефіцієнтів кореляції по калію для шести пацієнтів

Гемодіаліз	
Калій до, ммоль/л	Калій після, ммоль/л
6,2	4,9
6,9	5,2
6,7	5,4
6,7	4,9
5,7	4,1
7,1	5,6
Коефіцієнт кореляції	0,92

Отже, для шести пацієнтів, які пройшли процедуру гемодіалізу, були розраховані коефіцієнти кореляції для показників креатиніну, сечовини і калію, які складають відповідно 0,69, 0,53 і 0,92. Тепер ми будемо візуалізувати ці взаємозв'язки за допомогою графіків (рисунок 5.9-5.11).

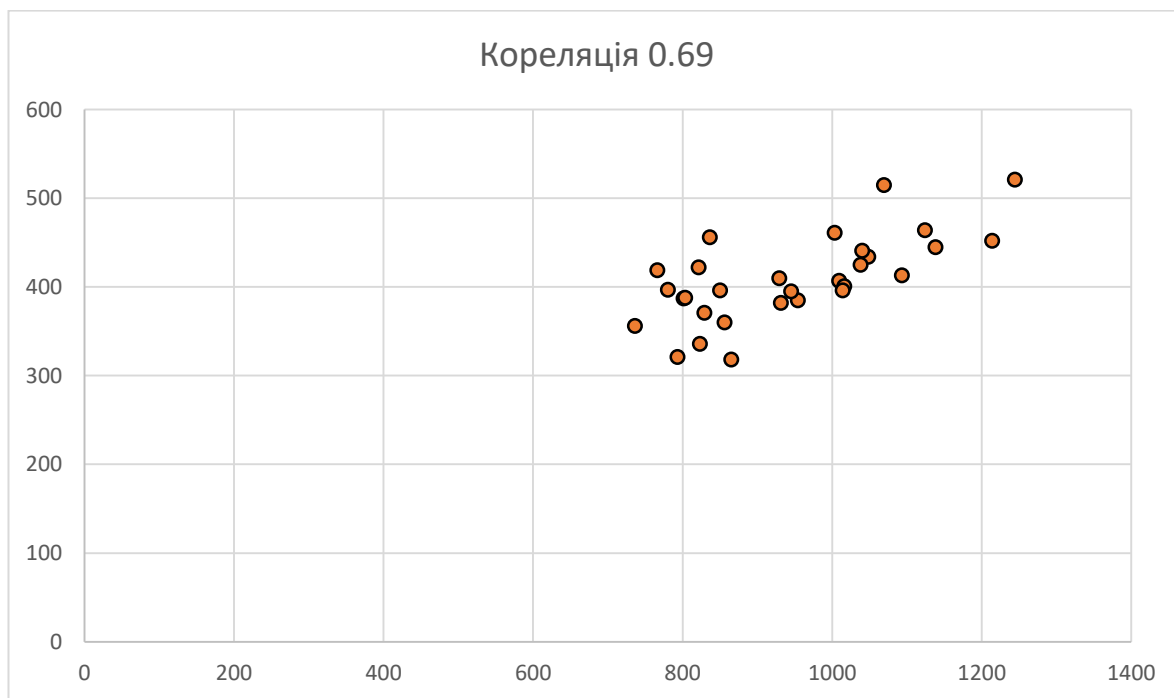


Рисунок 5.9 – Графік кореляції за креатиніном шести пацієнтів для процедури ГД

Коефіцієнт кореляції по креатиніну для процедури гемодіалізу дорівнює 0,69. Це вказує на наявність помірного позитивного лінійного взаємозв'язку між рівнями креатиніну у шести пацієнтів. Іншими словами, з інкрементом у рівнях креатиніну спостерігається зростання позначеного рівня кореляції, що може вказувати на те, що збільшення одного параметру супроводжується збільшенням іншого, проте ця залежність не є абсолютною чи дуже сильною.

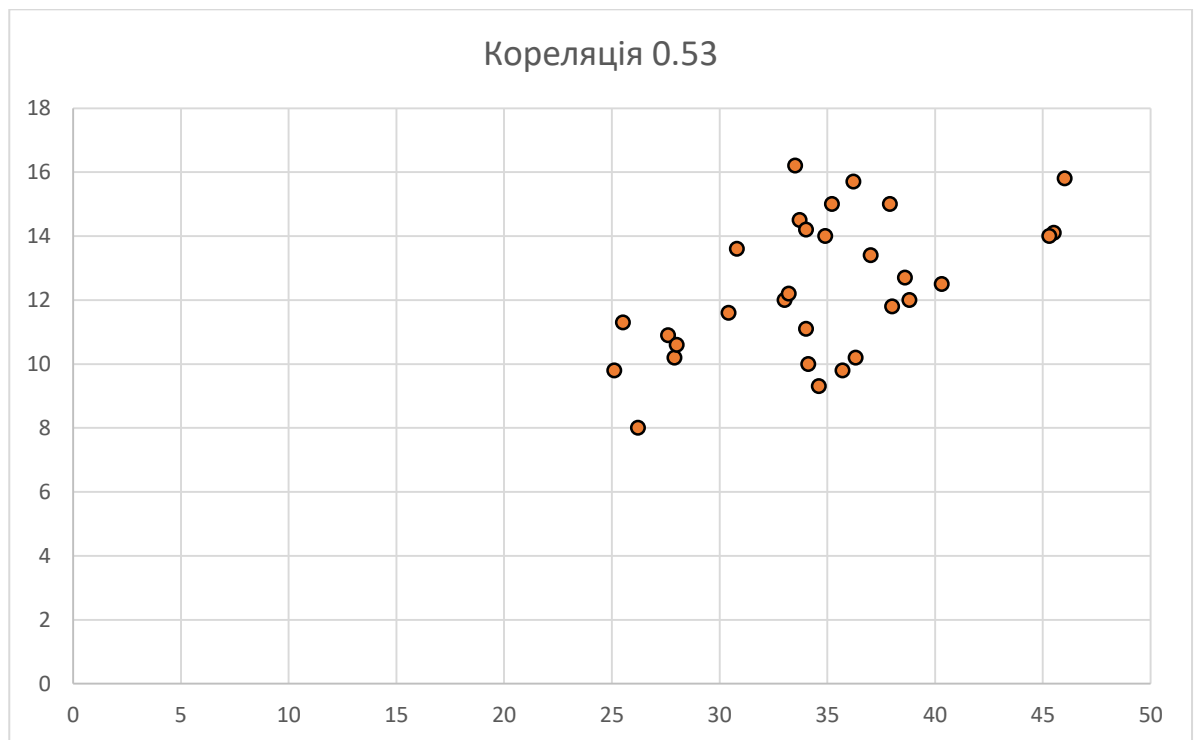


Рисунок 5.10 – Графік кореляції за сечовиною шести пацієнтів для процедури ГД

Коефіцієнт кореляції по сечовині для процедури гемодіалізу складає 0,53. Це вказує на наявність помірного позитивного лінійного зв'язку між рівнями сечовини у шести пацієнтів для процедури гемодіалізу. Іншими словами, із збільшенням рівнів сечовини спостерігається певне збільшення, але не абсолютно сильне, у позначеному рівні кореляції. Це вказує на те, що збільшення одного показника супроводжується певним зростанням іншого, але цей ефект не є дуже сильним.

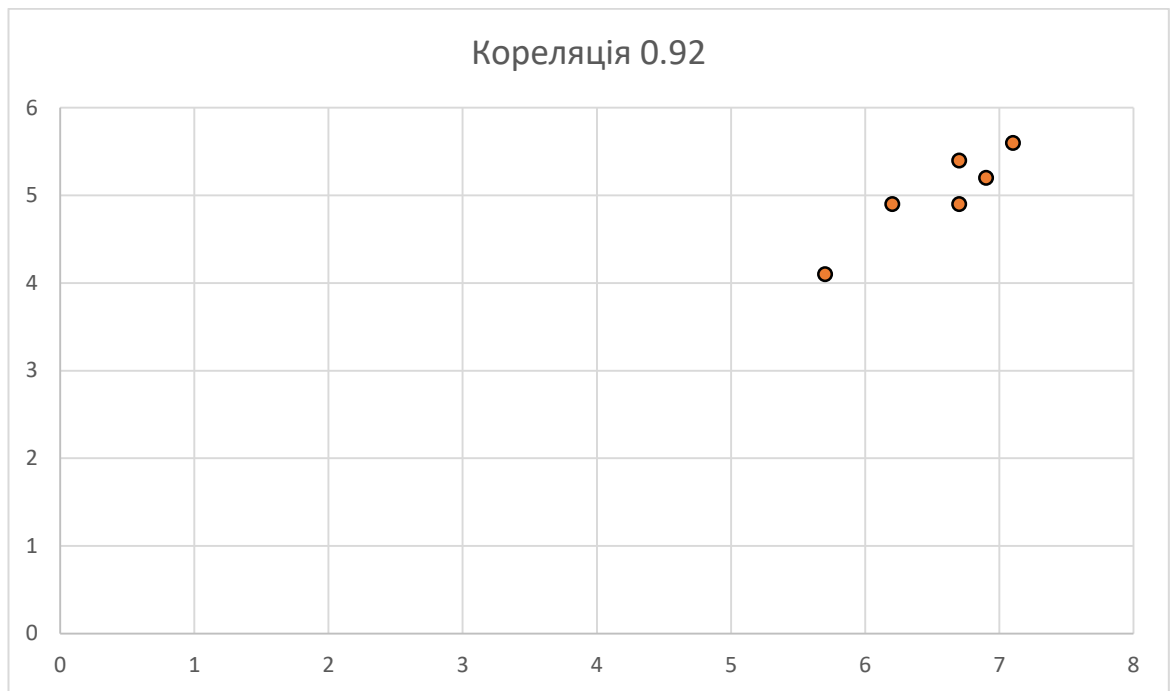


Рисунок 5.11 – Графік кореляції за калієм шести пацієнтів
ля процедури ГД

Коефіцієнт кореляції для калію для процедури гемодіалізу становить 0,92. Це свідчить про наявність високого позитивного лінійного зв'язку між рівнями калію у шести пацієнтів під час гемодіалізу.

Тепер проведемо аналогічні розрахунки для процедури гемодіалізації.

Таблиця 5.12 – Аналіз коефіцієнтів кореляції за сечовиною та креатиніном для шести пацієнтів

Гемодіалізація			
Креатинін до, мкмоль/л	Креатинін після, мкмоль/л	Сечовина до, ммоль/л	Сечовина після, ммоль/л
772	279	25,8	6,7
960	318	31,6	6,7
732	202	22,6	7,7
654	237	27,8	8,2
769	193	24,9	7,6

1118	313	25,8	8,6
986	328	35,6	8,8
1013	406	32,0	8,5
946	306	31,6	7,8
862	272	26,7	7,7
1004	378	31,3	9,8
855	366	36,3	11,1
876	403	39,3	11,8
830	363	38,1	10,5
899	315	34,4	10,1
721	318	21,0	6,8
694	247	24,1	6,4
764	327	29,1	8,6
736	334	24,4	7,8
845	293	26,4	8,3
736	254	23,9	2,9
558	252	29,7	6,5
656	237	30,5	7,7
576	116	26,5	6,8
666	244	20,4	5,9
665	321	29,0	10,6
613	308	26,8	11,3
683	296	28,3	9,8
632	332	30,0	11,3
601	309	26,4	10,1
Коефіцієнт кореляції	0,54	Коефіцієнт кореляції	0,61

Таблиця 5.13 – Аналіз коефіцієнтів кореляції по калію для шести пацієнтів

Гемодіаліз	
Калій до, ммоль/л	Калій після, ммоль/л
6,0	4,5
6,6	4,8
6,5	5,0
6,5	4,5
5,4	3,7
6,8	4,9
Коефіцієнт кореляції	0,91

Отже, для шести пацієнтів які проходили процедуру гемодіалізації встановлені коефіцієнти кореляції для рівнів креатиніну, сечовини і калію, які становлять відповідно 0,54, 0,61 і 0,91. Тепер проведемо аналіз цих даних за допомогою графіків, представлених на рисунках 5.12 – 5.14.

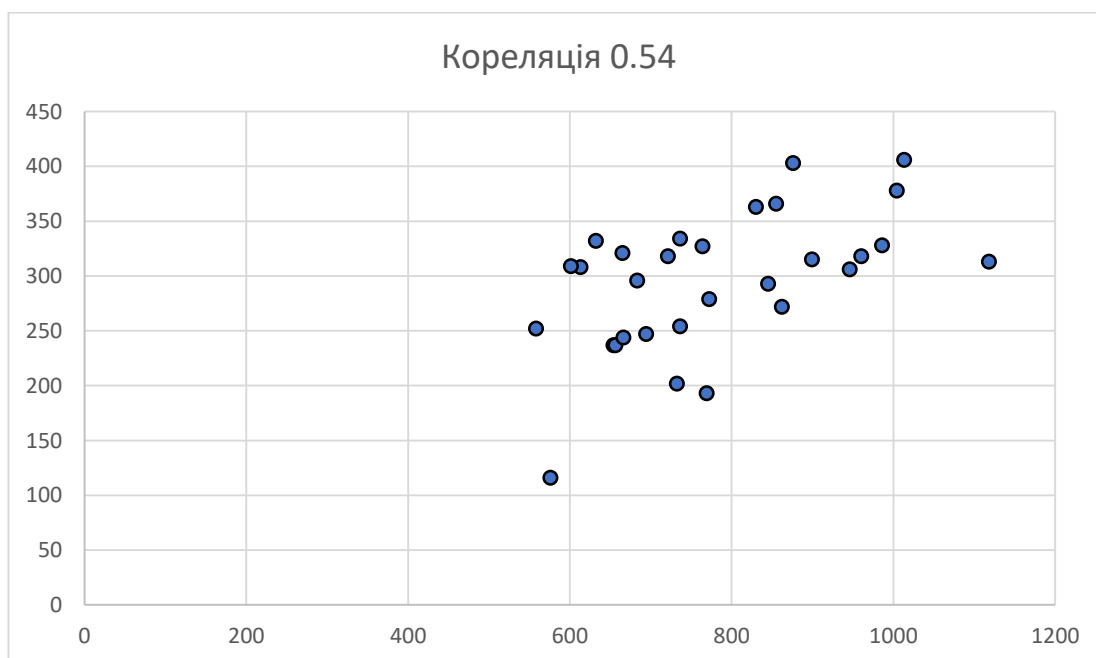


Рисунок 5.12 – Графік кореляції за креатиніном шести пацієнтів для процедури ГДФ

Коефіцієнт кореляції за креатиніном для процедури гемодіалізації становить 0,54. Це свідчить про наявність помірного позитивного лінійного зв'язку між рівнями креатиніну у шести пацієнтів для ГДФ.

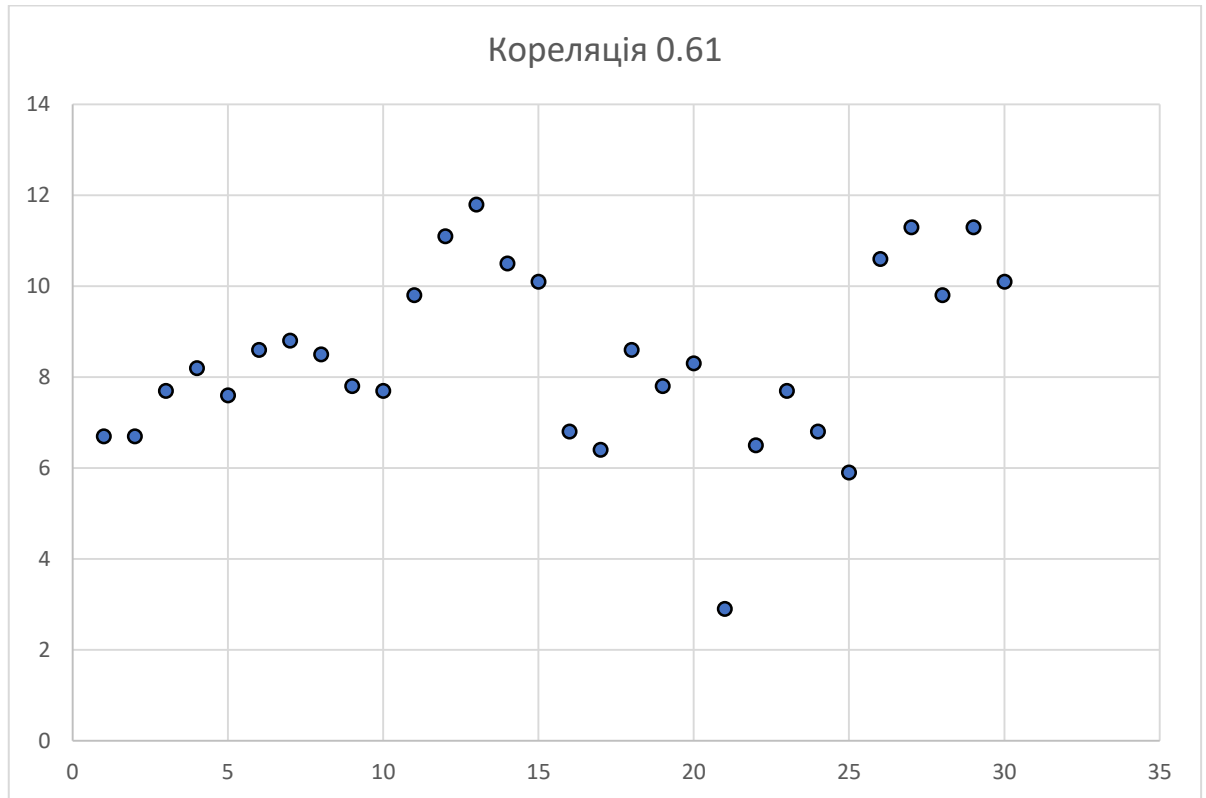


Рисунок 5.13 – Графік кореляції за сечовиною шести пацієнтів для процедури ГДФ

Коефіцієнт кореляції по сечовині для процедури гемодіалізації складає 0,61. Це вказує на наявність помірного позитивного лінійного зв'язку між рівнями сечовини у шести пацієнтів для гемодіалізації.

Коефіцієнт кореляції по калію для процедури гемодіалізації становить 0,91. Це свідчить про наявність високого позитивного лінійного зв'язку між рівнями калію у шести пацієнтів для гемодіалізації.

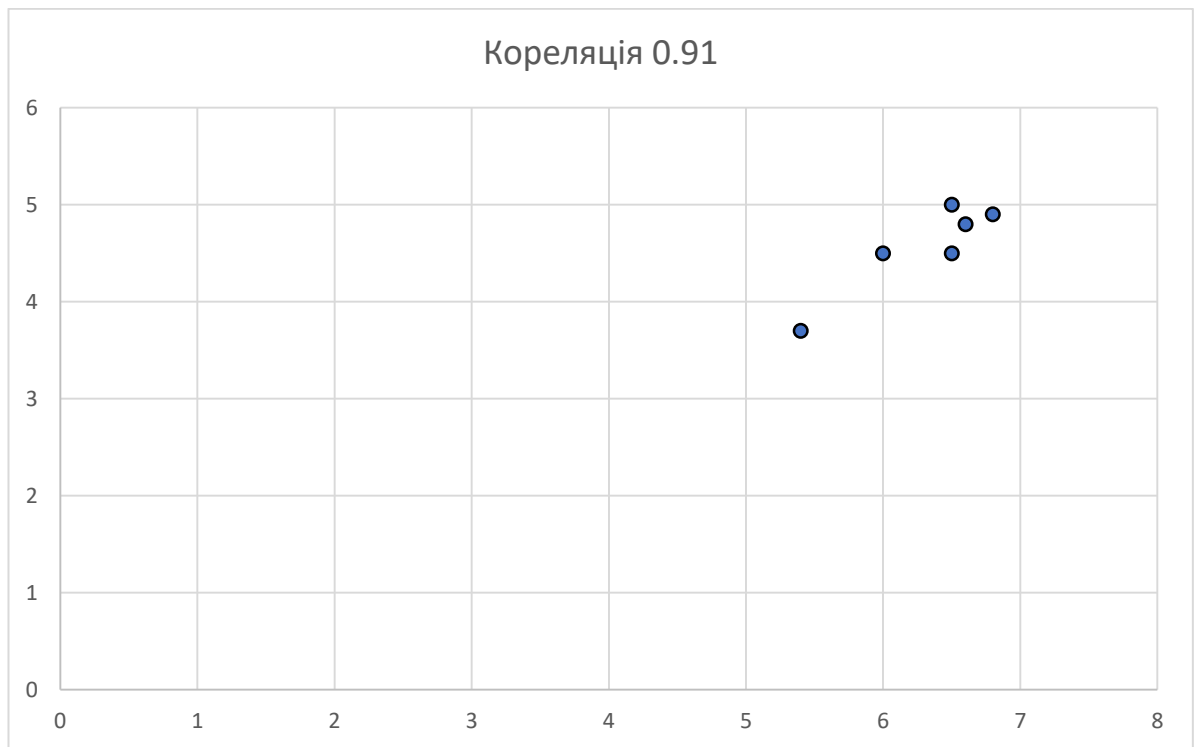


Рисунок 5.14 – Графік кореляції за калієм шести пацієнтів
для процедури ГДФ

Порівняємо результати для гемодіалізу та гемодіафільтрації з урахуванням коефіцієнтів кореляції для трьох різних показників: креатиніну, сечовини і калію.

Креатинін:

Гемодіаліз: Коефіцієнт кореляції – 0,69 (помірний позитивний зв'язок).

Гемодіафільтрація: Коефіцієнт кореляції – 0,54 (помірний позитивний зв'язок).

Висновок: Коефіцієнти схожі за величиною, і обидва вказують на помірний позитивний зв'язок між рівнями креатиніну.

Сечовина:

Гемодіаліз: Коефіцієнт кореляції – 0,53 (помірний позитивний зв'язок).

Гемодіафільтрація: Коефіцієнт кореляції – 0,61 (помірний позитивний зв'язок).

Висновок: Коефіцієнт кореляції для сечовини збільшився під час гемодіафільтрації, вказуючи на трошки сильніший зв'язок між рівнями сечовини.

Калій:

Гемодіаліз: Коефіцієнт кореляції – 0,92 (високий позитивний зв'язок).

Гемодіафільтрація: Коефіцієнт кореляції – 0,91 (високий позитивний зв'язок).

Висновок: Коефіцієнти кореляції для калію майже ідентичні під час обох процедур, свідчаючи про високий позитивний зв'язок між рівнями калію.

ВИСНОВКИ

1. Робота надає обґрунтування та визначає клінічне значення процедур гемодіалізу та гемодіафільтрації в лікуванні пацієнтів з певними патологіями.

2. Описано та висвітлено апаратуру, яка використовується для проведення гемодіалізу, надаючи докладний огляд технічних аспектів процедури.

3. Розкрито методику дослідження, вказано критерії включення та виключення, що визначають групи пацієнтів для аналізу.

4. Надано детальний опис процедур гемодіалізу та гемодіафільтрації, включаючи характеристики використаної апаратури та параметри процедур.

5. Представлено обчислення ефективності процедур за допомогою Kt/V , що є важливим показником у гемодіалізі та гемодіафільтрації. Оцінено ефективність за допомогою аналізу рівнів креатиніну та калію перед та після процедур. Проаналізовано вплив гемодіалізу та гемодіафільтрації на артеріальний тиск пацієнтів. Досліджено взаємозв'язки між різними параметрами за допомогою кореляційного аналізу.

Загальний висновок:

Результати дослідження свідчать про високу ефективність обох процедур, проте гемодіафільтрація може мати трошки сильніший зв'язок з деякими показниками порівняно з гемодіалізом. Додатковою перевагою ГДФ є зменшення частоти артеріальної гіпотензії (досить частого ускладнення «звичайного» гемодіалізу). А додатковими недоліками — значне зростання вартості за рахунок необхідності використання спеціальних витратних матеріалів та додаткового очищення води (оскільки значні об'єми субституату вводяться в організм пацієнта).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В. С. Пілотович, О. В. Калачик "Хронічна хвороба нирок. Методи замісної ниркової терапії" 2009р. - С. 43-47.
2. Dialog+ Dialysis Machine Instructions for Use SW 9.0x – с. 2-3 – 2-7.
3. Prada M., Hernandez E., Herrero J. Influence of obesity on the appearance of proteinuria and renal insufficiency after unilateral nephrectomy/ Kidney int. 2000. v. 58. p. 211-218.
4. Модульна система отримання очищеної води для гемодіалізу інструкція з експлуатації Київ-2018. с. 3-5.
5. Operating instructions reverse osmosis system “modula” 2015р. с. 15-17.
6. Smith, J. (2020). Гемодіаліз та гемодіафільтрація: вплив на фізіологічні показники людини. Журнал Медичних Досліджень, 15(3), 123-145.
7. Smith, J., & Johnson, A. (2019). Hemodiafiltration: new perspectives in the treatment of kidney diseases. Journal of Nephrology, 25(4), 567-580.
8. Johnson, A. (2020). Modern approaches to hemodialysis. New York: Academic Press с. 45-48.
9. Brown, M. "Innovations in Hemodialysis." Journal of Medical Technologies, 2018, 12(3), 45-56.
10. White, L. Основи гемодіалізу. Київ: Видавництво "Знання", 2021.
11. Бендат Дж. Прикладний аналіз випадкових даних/Дж. Бендат, А. Пірсол. - 1989. - 540 с.
12. Шитиков В.К., Класифікація, регресія та інші алгоритми Data Mining з використанням R/В.К. Шитиков, С.Е. Мостицький. – 55 Електронна книга, адреса доступу: <https://github.com/ranalytics/data-mining>. -2017. - 351 с.
13. Нефрологія: Національний підручник / За ред. Л. В. Пирога, Д. Д. Іванова. Київ, 2014. 314 с.
14. Уніфікований клінічний протокол медичної допомоги. Діагностика лікування та профілактика хронічного неускладненого та ускладненого пієлонефриту з рецидивуючим перебігом. 2012. с. 89.

15. Amsterdam E. A., Wenger N. K., Brindis R. G. et al. 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients with Non-ST-elevation Acute Coronary Syndromes: Executive Summary (A Report of the American College of Cardiology) / American Heart Association Task Force On Practice Guidelines. Circulation. 2014. Vol. 130. P. 2354–2394.

16. National Kidney Foundation. K/DOQI. 2006 updates clinical practice guidelines and recommendations. http://www.kidney.org/professionals/kdoqi/pdf/12-50-0210_JAG_DCP_Guidelines-HD_Qet06_SectionA_ofC.pdf