

Апарат для гемодіалізу - «Штучна нирка»

Апарат "Штучна нирка", апарат для гемодіалу, апарат для тимчасового заміщення видільної функції нирок - призначений для тимчасової заміни функції нирок по очищенню крові, але він не моделює природні ниркові процеси.

Штучну нирку використовують для звільнення крові від продуктів обміну, корекції електролітно-водного та кислотно-лужного балансів при гострій і хронічній нирковій недостатності, а також для виведення діалізних токсичних речовин при отруєннях і надлишку води при набряках.

В 1913 році американський вчений Дж. Абель створив апарат для діалізу, який став основою конструкції апарату «штучна нирка»; а в 1944 голландський вчений. Колф вперше успішно застосував її на практиці. В 1924 році було проведено перше у світі «промивання крові» через напівпроникну мембрану в організмі людини. Це зробив Георг Хаас (Gregor Haas) в німецькому місті Гіссен. Однак, прорив стався тільки в 1945 році, коли Віллем Колфф (Willem Kolff) в Кампені (Нідерланди) застосував діалізатор з целофановою трубкою як напівпроникною мембраною. Така мембрана дозволила робити контрольовану очистку крові. В 1946 році Нілс Алвол (Nils Alwall) в Лунді (Швеція) розробив методику вимивання набрякової рідини з легенів і тканин (ультрафільтрація).

Робота штучної нирки заснована на принципі діалізу речовин через напівпроникну мембрану внаслідок різниці їх концентрацій у крові і діалізному розчині, який містить основні електроліти крові і глюкозу в близьких до фізіологічних концентраціях і не містить речовин, які треба видаляти з організму (сечовина, креатинін, сечова кислота, сульфати, фосфати та ін). Білки, формені елементи крові, бактерії і речовини з молекулярною масою більше 30000 через мембрану не проходять. При гемодіалізі, кров хворого відсмоктується через катетер (1) насосом (2) з нижньої порожнистої вени, проходить всередині камер з целофанових листів діалізатора (3), які зовні омиваються діалізним розчином, що подаються іншим насосом, і, частково очищена, повертається в одну з поверхневих вен. Гемодіаліз проводиться від 4 до 12 год; протягом цього часу, щоб кров не згорталася, у неї вводять гепарин. При гострій нирковій недостатності гемодіаліз повторюють через 3-6 днів до відновлення функції нирок; при хронічній недостатності, коли його необхідно проводити 2-3 рази в тиждень протягом декількох місяців або років, між променевою артерією і поверхневою веною передпліччя встановлюють тefлоновий шунт, з яким і з'єднують апарат. В цьому випадку кров може надходити в діалізатор без використання насоса. Для одночасного проведення гемодіалізу декільком хворим застосовують напівавтоматичні системи приготування і доставки до діалізаторів діалізного розчину.

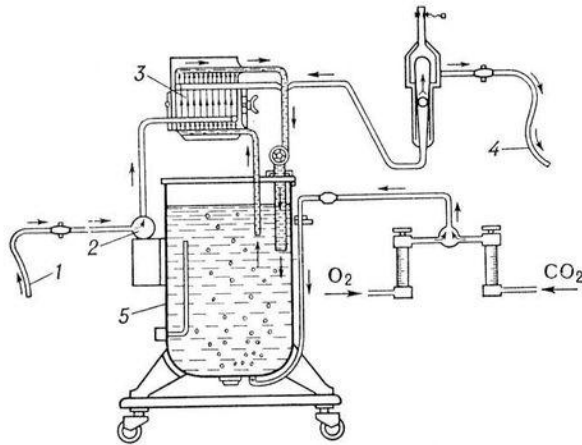


Схема апарата «штучна нирка»: 1 — катетер; 2 — насос; 3 — діалізатор; 4 — катетер повернення крові хворому; 5 — бак для діалізуючого розчину

Подібна апаратура використовує клінічно схвалені методи штучного очищення крові, такі як гемодіаліз, гемодіафільтрація і перитонеальний діаліз. Гемодіаліз - метод звільнення крові від низько- і середньомолекулярних речовин за допомогою вибіркової дифузії через напівпроникну мембрану, яка відокремлює стерильну кровопровідну систему від нестерильного діалізуючого розчину.

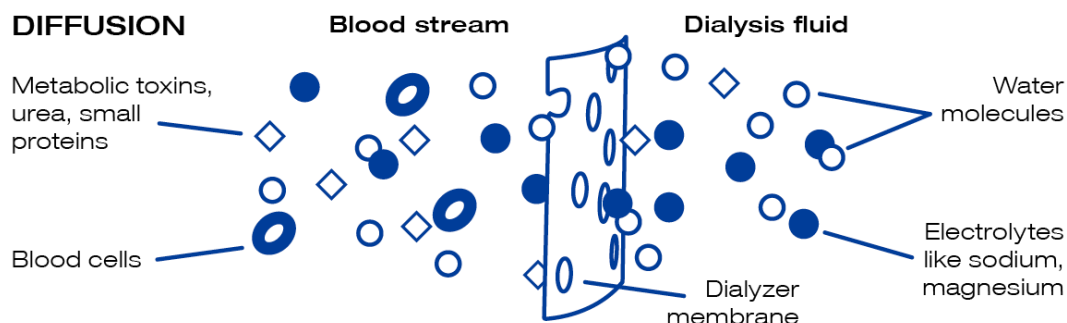
Щільність потоку речовини через мембрану описується рівнянням Фіка

$$J = - D \cdot dc(x)/dx ,$$

де x - напрямок дифузії, $c(x)$ - розподіл концентрації, D - коефіцієнт дифузії.

Перенесення метаболічних токсинів крізь мембрану в діалізну рідину відбувається на основі природних процесів. Цей процес відомий як **дифузія**. Коли кров і діалізна рідина з різною концентрацією молекул відокремлюються напівпроникною мембраною, молекули переміщуються крізь мембрану до нижчої концентрації. Однак, великі білки та клітини крові занадто великі, щоб пройти через малі пори мембрани, тому вони залишаються в крові.

В **гемодіалізі** використовується штучна мембрана (діалізатор). На противагу, в перитонеальному діалізі (черевина) використовується природна напівпроникна діалізна мембрана.



Пацієнти з хронічною нирковою недостатністю зазвичай мають проблеми із надлишком рідини, оскільки у них проблеми з виведенням сечі.

Під *діалізом* розуміють обмін речовин між кров'ю хворого з нирковою недостатністю та діалізуючим розчином, який проходить через проникну мембрану. При **гемодіалізі** роль напівпроникної мембрани грає діалізатор, при перитонеальному діалізі – очеревина. Метод гемодіалізу полягає у тому, що з крові пацієнта видаляють продукти обміну речовин, які не виводяться нирками через

втрату їхньої функції, та додають певні речовини, дефіцит яких також зумовлений нирковою недостатністю. Процес обміну речовинами між кров'ю хворого і спеціальним діалізуючим розчином здійснюється через напівпроникну мембрану спеціального пристрою (діалізатора) та відбувається за електрохімічним градієнтом, тобто являє собою дифузійний транспорт. При лікуванні стандартним гемодіалізом видалення низькомолекулярних речовин (азотистих шлаків та електролітів) проходить шляхом дифузії, надмірної кількості води – ультрафільтрації. Дифузія прискорюється при підвищенні температури розчину та зменшенні розмірів молекул речовини. Вона проходить вибірково – різні речовини дифундують з різною швидкістю, яка залежить від молекулярної маси та градієнта концентрації. Це дає змогу шляхом підбору складу діалізуючого розчину вибірково видаляти з крові одні речовини та зберігати (і навіть підвищувати) концентрацію інших. Середньо- та високомолекулярні речовини за допомогою дифузії видаляються погано.

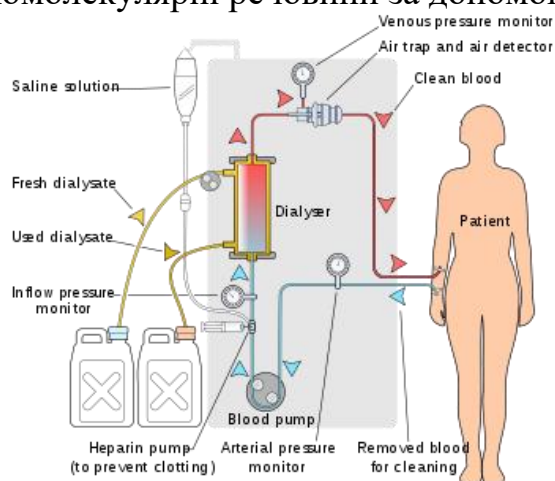


Схема гемодіалізу



Крісло для проведення гемодіалізу

Для гемодіалізу часто використовують венозне підключення хворого до апарату, що може здійснюватися секційним і пункційним шляхом. Пункційна методика введення катетерів дає можливість проводити гемодіаліз багаторазово.

У зв'язку з необхідністю проведення повторних і частих гемодіалізів у хворих з ГНН широко застосовується накладення артеріовенозного шунта. Найчастіше використовують найбільш розвинену гілку променевої артерії, розташовану в нижній третині тильнолатеральної поверхні передпліччя. При неможливості використання для шунта вен у нижній третині передпліччя оголюють вени в середній або верхній третині передпліччя. Кров з артерії по шунту надходить у вену. Для проведення гемодіаліза шунт роз'єднують і за допомогою магістралей приєднують до апарата для гемодіалізу.

Проведення гемодіалізу за допомогою артеріовенозного шунта не вимагає повторної венесекції.

Для запобігання тромбування в магістралях апарата вводяться гепарини з розрахунку 150-200 ОД/кг маси тіла хворого. Із профілактичною метою через 3-4 год додатково вводять ще 2000-5000 ОД гепарина. Доза введеного гепарина звичайно залежить від стану системи згортання крові й опори в магістралях апарата. При використанні роликового насоса найбільш оптимальною варто вважати швидкість перфузії 50- 100 мл/хв.

Під час гемодіалізу регулярно контролюють концентрацію в плазмі крові сечовини, електролітів, показники КОС, час згортання крові. Після гемодіалізу залишкові кількості циркулюючих в крові хворого гепарину нейтралізують введенням 1 % розчину протаміну сульфату з гепарином у співвідношенні 1:1.

Ультрафільтрація (УФ) – фільтрація безбілкової частини крові через напівпроникну мембрану під дією гідростатичного тиску з боку крові чи розрідження ззовні діалізної мембрани. Максимальна величина трансмембранного тиску повинна бути не більше 500-600 мм рт.ст. Більш високий тиск не підвищує продуктивності ультрафільтра й може викликати гемоліз. Для одержання більшої продуктивності трансмембранний тиск збільшують у зазначених межах шляхом створення негативного тиску у внутрішній порожнині ультрафільтра й іноді за рахунок часткової оклюзії виходу з ультрафільтра.

Швидкість і інтенсивність ультрафільтрації крові залежать не тільки від величини трансмембранного тиску, але й від будови мембрани, гематокритного числа фільтрованої крові, її білкового складу, температури, характеру потоку й ряду інших факторів. У процесі ультрафільтрації крові її продуктивність знижується в результаті відкладення високим тиском плівки білка на стороні ультрафільтра, що зменшує проникність мембрани.

Різні мембрани, застосовувані для ультрафільтрації крові, пропускають сполуки з відносною молекулярною масою в межах від 6000 до 20 000. Практично це означає, що фільтрації піддаються такі речовини, як вода, сечовина, сечова кислота, креатинін, вільні електроліти, деякі отрути, тоді як формені елементи й білки крові затримуються.

Сучасні методи ультрафільтрації дозволяють за 1 год видалити 6 л рідини й більше.

З ультрафільтратом видаляються амінокислоти й деякі гормони (тестостерон, гастрин, паратирин, гастроінтестинальний пептид), але концентрація їх у плазмі не змінюється. Слід особливо зазначити, що при ультрафільтрації крові з неї видаляються ендо- і екзотоксини з низькою й середньою молекулярною масою.

Ультрафільтрація крові застосовується при різній патології: для лікування набряку мозку різної етіології, опіків, сепсису, печінкової недостатності, несерцевих набряків, стійких до медикаментозної терапії, шоку, отруєнь, а також при синдромі низького серцевого викиду після різних хірургічних втручань.

Гемофільтрація (ГФ) – метод лікування ГНН і хронічної ниркової недостатності [ХНН], який ґрунтується на конвективному транспорті рідинної частини крові і розчинених у ній речовин через мембрану з високою гідравлічною проникністю з частковим заміщенням ультрафільтрату стерильним розчином. При конвекції перенесення речовини відбувається разом із потоком плазмової води. Метод відрізняється тим, що в цій методиці, окрім дифузійного транспорту для очищення крові, використовується ще й конвективний, тобто видалення речовин в

об'ємі рідини, що додатково автоматично вводиться в екстракорпоральний контур. Під час конвекції незначно збільшується транспорт низькомолекулярних токсинів, проте має місце значне збільшення видалення середньомолекулярних та меншою мірою високомолекулярних речовин.

Гемодіафільтрація (ГДФ) – поєднання ГФ з гемодіалізом, при якому одночасно проходять два процеси: дифузія токсичних речовин через мембрану в діалізуючий розчин за градієнтом концентрації і конвективний транспорт води та розчинених в ній токсичних речовин через мембрану.

Біофільтрація (БФ) – один із варіантів ГДФ, який використовують при ГНН та ХНН із тяжким декомпенсованим метаболічним ацидозом і нестабільною гемодинамікою. При традиційній БФ застосовують ацетатний діалізуючий розчин та високопроникні мембрани. Під час процедури в режимі постдилюції вводиться бікарбонатний заміщуючий розчин в об'ємі 3 л. При безацетатній біофільтрації (ББФ) попередньо ацетат не додають до діалізуючого розчину. Під час процедури в режимі постдилюції вводять розчин, що містить бікарбонат, який з крові дифундує в діалізуючий розчин. Рівень бікарбонату крові визначають як різницю між бікарбонатом, що надійшов у кров із заміщуючим розчином і бікарбонатом, видаленим з діалізуючим розчином. Стійкого рівня бікарбонату крові досягають у тих випадках, якщо кількість бікарбонату, що надійшов, дорівнює втраченому. При ББФ на відміну від традиційної БФ досягається краща корекція кислотно-основного балансу крові та виключаються ускладнення, пов'язані з використанням ацетату. При бікарбонатному гемодіалізі на відміну від ББФ бікарбонатний діалізуючий розчин вміщує мінімальну кількість ацетату, дегідратація під час ББФ досягається видаленням не позаклітинної, а внутрішньоклітинної рідини.

Гемодіаліз проводять за допомогою апарату штучної нирки. Апарат складається з таких компонентів: прилад для подачі крові, прилад для приготування та подачі діалізуючого розчину, монітор, діалізатор.

Найважливішу функцію виконує діалізатор. Він містить напівпроникну мембрану на основі целюлози або штучних полімерів. Вона розділяє внутрішній простір діалізатора на дві частини (для крові та діалізуючого розчину), кожна з яких має свій вхід і вихід. Кров забирається з центральної судини хворого, потрапляє у діалізатор і знаходиться по один бік мембрани (у численній сітці капілярів). На іншому боці (зовні капілярів) знаходиться діалізуючий розчин, який за електролітним складом є подібним до складу крові. Шляхом дифузії у бік нижчої концентрації через мембрану видаляються речовини з невеликою молекулярною масою (електроліти, сечовина, креатинін, сечова кислота тощо). Шляхом ультрафільтрації видаляється надлишок води та речовин з великою молекулярною масою. Очищена кров повертається у судинне русло хворого.

Високопоточний гемодіаліз відрізняється тим, що проводиться з використанням так званих високопоточних діалізаторів, що дозволяють швидше видаляти певні речовини з крові пацієнтів на відміну від низькопоточних діалізаторів. До переваг високопоточного діалізу відноситься більш швидке видалення таких речовин, як фосфор та β_2 -мікроглобулін. Разом із тим, на жаль, спостерігається зростання втрат таких корисних речовин, як альбумін та мікроелементи.

Постійну ЗНТ проводять протягом 24 год, але практично її доводиться переривати через необхідність переведення пацієнта з відділення інтенсивної терапії чи зупинки екстракорпорального контура. Для першого (ІГД) використовують

синтетичні мембрани діалізатора (незначно активують систему комплементу та згортання крові) та апарати «штучної нирки» з УФ. При неможливості контролю УФ через ризик видалення значної кількості рідини з крові та розвиток гострої гіповолемії застосовують діалізатори з низькопроникною мембраною (низькопоточний гемодіаліз). Перший гемодіаліз триває не більше 2 год, і починають його з низької швидкості кровотоку (рівної трикратній вазі тіла хворого – до 250 мл/хв) та швидкості потоку діалізуючого розчину до 500 мл/хв. Надалі швидкість кровотоку діалізатора регулюють таким чином, щоб до кінця сеансу гемодіалізу частка зниження сечовини крові за процедуру не переважала 30%, що знизить ризик розвитку синдрому порушеної рівноваги. Об'єм ультрафільтрату не повинен перевищувати 2 л. Якщо є необхідність видалення більшого об'єму рідини (3-5 л), проводять ізольовану УФ протягом 1-2 год, а потім двогодинний гемодіаліз. Тривалість другого сеансу гемодіалізу, який здійснюють наступного дня, підвищують до 3 год. Подальші процедури гемодіалізу поступово підвищують до 4-5 год. Ефективність стандартного режиму гемодіалізу (3 рази на тиждень по 4 год) у хворих на ГНН недостатня, адекватним є щоденний гемодіаліз по 3-4 год/доб зі швидкістю кровотоку 300-350 мл/хв. При некатаболічній ГНН гемодіаліз проводять через день, але за умови подовження сеансу до 5-6 год/доб.

Для лікування ГНН застосовують наступні методики.

ІГД – метод гемокорекції, при якому з крові видаляють речовини з низькою та середньою молекулярною вагою шляхом дифузії та ультрафільтрації через штучну напівпроникну мембрану.

Подовжена ЗНТ:

- *Подовжений щоденний гемодіаліз (extended daily dialysis, EDD)* – метод гемокорекції, який відрізняється від ІГД більшою тривалістю сеансу та меншою швидкістю кровотоку.

- *Повільна постійна ультрафільтрація (slow continuous ultrafiltration, SCUF)* – метод гемокорекції, який ґрунтується на тривалому постійному фільтраційному перенесенні через напівпроникну діалізну мембрану рідини з циркулюючої екстракорпорально крові. При цьому рідина виводиться з крові зі швидкістю 2-5 мл/хв з метою корекції рідинного балансу, а не детоксикації. Діалізуючий розчин в діалізаторі не використовують.

- *ПВВГФ* або continuous venovenous haemofiltration (CVVH) – метод гемокорекції, який ґрунтується на постійному фільтраційному та конвекційному перенесенні через напівпроникну діалізну мембрану низько- та середньомолекулярних токсичних субстанцій і рідини з циркулюючої (екстракорпорально) крові з внутрішньовенним заміщенням збалансованим кровозаміщуючим (плазмозаміщуючим) розчином. При цьому видаляють 12-24 л фільтрату за добу з використанням синтетичних мембран діалізатора з високим коефіцієнтом ультрафільтрації. При виконанні ПВВГФ не використовують подачу діалізуючого розчину в діалізаторі (рис. 20).

- *Постійна артеріо-венозна гемофільтрація (ПВВГФ)* або continuous arteriovenous haemofiltration (CAVHD). На відміну від ПВВГФ градієнт артеріо-венозного тиску дає можливість рухатись крові по екстракорпоральному контуру без застосування насоса.

- *Постійний вено-венозний гемодіаліз (ПВВГД)* або continuous venovenous haemodialysis (CVVHD) – метод гемокорекції, який ґрунтується на тривалому постійному дифузному обміні та фільтраційному переносі через напівпроникну

діалізну мембрану низькомолекулярних токсичних субстанцій та рідини з циркулюючої (екстракорпоральної) крові у діалізний розчин. Постійний гемодіаліз забезпечує видалення такої ж кількості токсичних субстанцій, як і трикратний (за тиждень) ІГД. При ПБВГД застосовують низькопоточні діалізатори.

- *Постійна вено-венозна гемодіафільтрація (ПБВГДФ) або continuous venovenous haemodiafiltration (CVVHDF)* – метод гемокорекції, який ґрунтується на тривалому постійному дифузному обміні, фільтраційному та конвекційному перенесенні через напівпроникну мембрану низько- та середньомолекулярних субстанцій і рідини з циркулюючої (екстракорпоральної) крові в діалізуючий розчин з внутрішньовенним заміщенням збалансованим плазмозамінним розчином (рис. 20). Застосовують діалізатори, подібні до подовженої гемофільтрації. ПБВГФ, ПБВГД, ПБВГДФ, SCUF та плазмаферез відносять до стандартних методів ЗНТ.

Гібридна терапія (*повільний низькопоточний гемодіаліз або sustained low-efficiency dialysis [SLED]*) – метод гемокорекції, який уникає негативного впливу інтермітуючого лікування (ІГД) на гемодинаміку шляхом виведення рідини та розчинених у ній речовин протягом тривалого часу (8-12 год). Це дозволяє уникнути швидкого коливання концентрації розчинених речовин і різкого зниження внутрішньосудинного об'єму. Метод дає можливість підвищити рівень видалення токсичних речовин в осіб з поліорганною недостатністю та високим рівнем катаболізму і використати низькі дози гепарину. Сьогодні стратегія лікування ГНН зосереджена на вискоєфективному видаленні з крові уремічних токсинів і супутньому «м'якому» виведенні рідини. Постійні подовжені методи ЗНТ мають переваги при нестабільній центральній гемодинаміці.

Показання до ІГД у щоденному режимі:

- вік хворого ≤ 65 років;
- преренальна (постренальна) ГНН;
- відсутність показань для введення вазопресорів;
- серцева недостатність, яка не перевищує II функціональний клас;
- самостійне дихання (дихальна недостатність не перевищує II ст.)

Показання до ПБВГДФ:

- вік хворого ≤ 65 років;
- ренальна ГНН;
- необхідність введення вазопресорів;
- серцева недостатність III-IV функціонального класу;
- необхідність проведення допоміжної вентиляції легень;
- наявність печінкової недостатності (енцефалопатія)/напружений асцит.

Гострий перитонеальний діаліз (ПД)

До переваг ПД при порівнянні з ІГД відносять:

- відсутність необхідності складної апаратури;
- простоту перитонеального доступу;
- відсутність необхідності в судинному доступі до центральної вени, а також у регулярному застосуванні антикоагулянтів;
- ефективний контроль за водно-електролітним балансом та внутрішньосудинним об'ємом завдяки безперервності ПД та регульованості УФ.



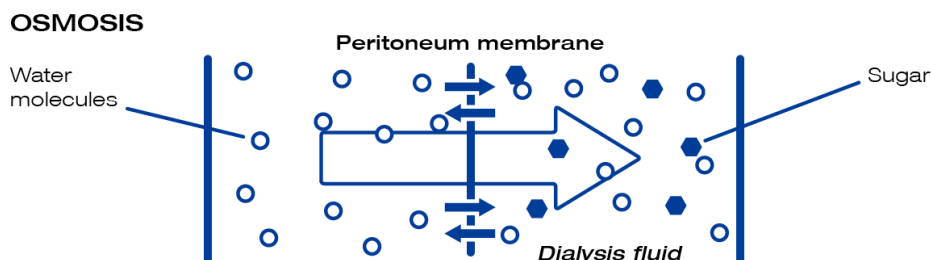
Рис. . Методика проведення перитонеального діалізу

ПД здійснюють шляхом введення в черевну порожнину діалізуючого розчину через перитонеальний катетер (рис. 11). Імплантацію перитонеального катетера проводять за допомогою лапароцентезу з використанням спеціального троакара Тенкоффа або ж частіше лапароскопічно. Роль напівпроникної мембрани, яка видаляє азотисті шлаки та електроліти, виконує мезотелій очеревини. УФ відбувається під дією осмотичного градієнта за рахунок діалізних розчинів з високою концентрацією глюкози та її дериватів (айкодекстрин). Гострий ПД виконують в інтермітуючому режимі через тимчасовий перитонеальний катетер з використанням автоматичних циклерів; за допомогою двопакевної системи. В один із пакетів здійснюють злив відпрацьованого діалізного розчину з черевної порожнини, а з іншого – заливається в черевну порожнину нова порція розчину. Проведення автоматичного ПД підвищує її ефективність та безпечність обмінів – циклів, число яких коливається від 4 до 24 за добу. Терміном «цикл» називають період інфузії, експозиції та зливу діалізного розчину. Об'єм разового обміну коливається від 1 до 3 л. При некатаболічній ГНН число обмінів дорівнює 12, за добу використовують до 24 л діалізного розчину. Перитоніт ускладнює ПД у 10-12% випадків і частіше в перші 48 год лікування. У зв'язку з розвитком діалізних технологій у хворих на ГНН ПД використовують рідко.

Ультрафільтрація - видалення з організму води внаслідок різниці гідростатичного і осмотичного тисків по обидва боки напівпроникної мембрани.

Необхідний для ультрафільтрації градієнт тиску досягається за рахунок зниження тиску в діалізному розчині по відношенню до потоку крові.

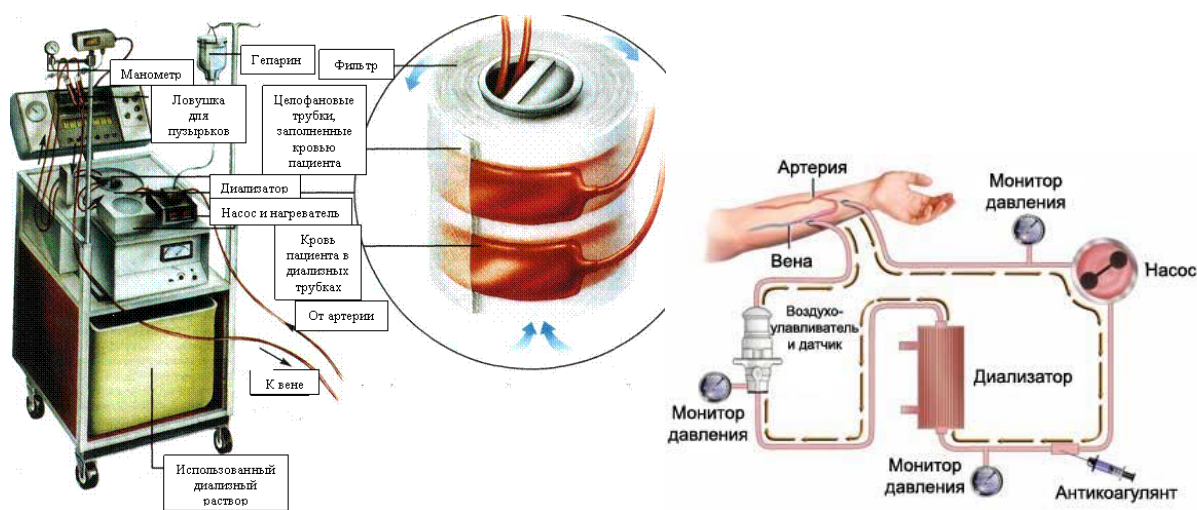
Щоб вивести зайву воду з організму під час перитонеального діалізу, в діалізну рідину додають цукор. Оскільки молекули цукру не можуть легко пройти через мембрану черевини, вода тіла проходить через черевину в діалізну рідину, щоб збалансувати різницю в концентрації рідини. Цей процес відомий як **осмос**. Постійно вводячи свіжу діалізну рідину, зайву воду, яку нирки не можуть вивести (і тоді вона накопичується в організмі), можна вивести з крові.



Ще один процес, який може застосовуватися при **гемодіалізі** - це конвекція. Конвекція відіграє важливу роль у **гемодіафільтрації**, особливо ефективному типі гемодіалізу. При конвекції вода проштовхується через мембрану за допомогою гідростатичного тиску. Разом з водою, цей тиск тягне токсини та молекули відходів через напівпроникну мембрану.

Основні елементи апарату "Штучна нирка":

- діалізатор;
- перфузійний пристрій для просування крові через апарат;
- пристрій для приготування і подачі в діалізатор розчину (діалізна система);
- пристрій, що контролює і регулює основні техніко-медичні параметри гемодіалізу, монітор.



Підставою для початку процедури вважаються наступні показання:

- за добу хворий виділяє менше 500 мл сечі,
- ниркова функція збережена менш, ніж на 10%,
- сечовина крові вище 35 ммоль / л, креатинін - вище 1 ммоль / л, калій - вище 6 ммоль / л,
- є ознаки набряку головного мозку, легенів, що не піддаються консервативному лікуванню.

Проведення гемодіалізу Очищення крові за допомогою «штучної нирки» вимагає підготовки пацієнта до проведення процедури. Їх кровоносні судини не завжди знаходяться у хорошому стані і багатогодинне виведення і введення рідини здатне зіпсувати їх остаточно. Проблему можна розв'язати наступними способами: З артерії та вени формується фістула, зазвичай на передпліччі. Судинні стінки після операції товщають і ущільнюються, тому навіть часте проведення гемодіалізу не

здатне порушити їх цілісність. Під місцевою анестезією вшивається катетер у вену, що знаходиться в паховій зоні. Перевагою даного методу є можливість використання пристрою відразу після проведення операції. Але таким пацієнтам протипоказані фізичні навантаження, піднімання тягарів.

Перед проведенням процедури гемодіалізу медичний персонал вимірює пацієнту частоту пульсу і артеріальний тиск. Найсучасніші апарати для очищення крові забезпечені пристроями для попереднього зняття даних показань. Також людині слід зважитися для оцінки можливої набрякості тканин і розрахунку об'єму рідини, яку слід вивести з організму. Токсичні речовини і шлаки видаляються з кров'яного русла при створенні надлишкового гідростатичного тиску на рідину, відокремлену від розчинника мембраною. Через кілька годин кров пацієнта повністю очищається, а місце введення обробляється дезінфікуючими розчинами з подальшим застосуванням стерильної пов'язки.

До складу діалізного розчину включені катіони магнію, натрію, калію і аніони хлору. Їх концентрація відповідає тій, яка повинна бути у здорової людини. Проходження рідин через мембрану дозволяє заповнити кількість електролітів в крові пацієнта. При зниженні функціональної активності нирок підвищується кислотність біологічних рідин. Діалізний розчин містить натрію гідрокарбонат, який зв'язується з клітинами крові. РН крові зсувається в лужну сторону і нормалізується. Порушення процесів фільтрації в структурних елементах нирок провокують набряклість тканин. При проходженні крові через напівпроникну мембрану зайва рідина з неї видаляється і накопичується в діалізуючому розчині.

Для профілактики закупорки судин бульбашками повітря (емболія), апарат «штучна нирка» оснащений пристроєм, який їх знищує або перешкоджає утворенню. Після проведення гемодіалізу проводяться виміри вмісту сечовини і її з'єднань в біологічних рідинах.

Звичайний гемодіаліз. Порівняно невеликий потік крові, діалізуючого розчину. Площа целюлозної мембрани складає близько 1 кв. метра. Високоєфективний гемодіаліз. Час проведення процедури не займає більше чотирьох годин. Загальна площа поверхні напівпроникною мембрани - 2 кв. метра, швидкість руху рідин досягає 250 мл / хв. Високопоточних гемодіаліз. Удосконалено мембрани: через них можуть проходити дуже великі конгломерати. Процедура дозволяє зберігати в крові корисні речовини і мікроелементи, перешкоджає виникненню ускладнень.

Розрізняються апарати для гемодіалізу та за конструкцією фільтра для очищення крові: діалізаторів дискові. Паралельні пластини з полунепроніцаемою мембраною дозволяють проводити постійний контроль над якістю фільтрації. Знижений ризик тромбоутворення, невисокий обсяг очищується крові. Діалізатори капілярні. При проведенні процедури очищення крові зведений до мінімуму ризик утворення ускладнень завдяки швидкому потоку рідин. Вибір апарату проводиться медичним персоналом на підставі стану пацієнта і можливостей лікувального закладу.

Діалізатори для гемодіалізу

Діалізатор - це штучний фільтр, що містить дрібні волокна. Волокна порожнисті з мікроскопічними порами в стінках, також відомі як напівпроникна діалізна мембрана. Для виведення токсинів під час гемодіалізу, спеціальна діалізна рідина протікає через фільтр, і вимиває волокна ззовні, в той час як кров тече через

порожнисте волокно. Завдяки напівпроникності крізь мембрану можуть проходити токсини, сечовина та інші дрібні часточки.



ONE DIALYZER CAN CONTAIN
UP TO 20,000
HOLLOW FIBERS



THE HOLLOW FIBER-
WALL MEASURES JUST
0.035 mm or 35 μm

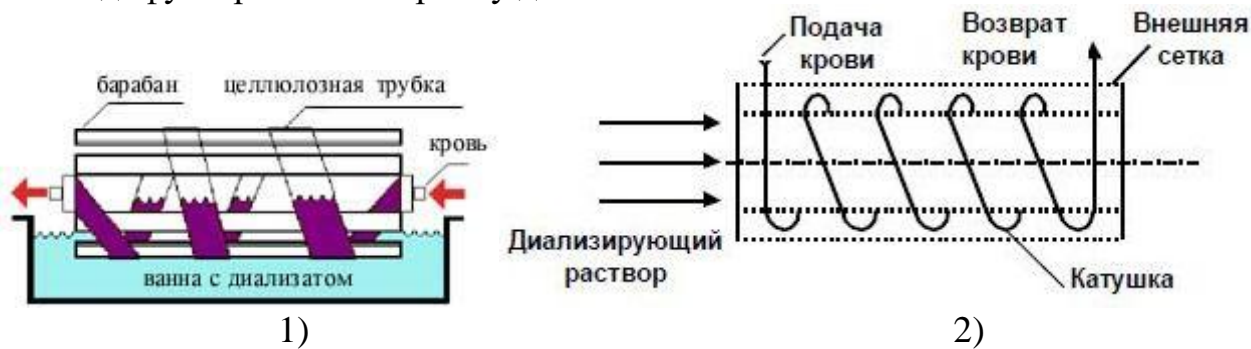
Діалізатори пристроїв також мають різну конструкцію.

У деяких приладах встановлюють пластинчасті моделі. Вони складаються з декількох паралельно розташованих пластин, покритих зверху напівпроникною мембраною. Діалізат протікає всередині дисків, а зовні знаходиться потік крові. Головним плюсом такого компонента є низький опір, який знижує ймовірність утворення тромбів.

Капілярні діалізатори складаються з безлічі порожніх волокон. За ним тече кров, а зовні надходить діалітичний розчин. У підсумку всі домішки швидко вимиваються з рідини. Перевагою використання компонента даного типу є підвищення ефективності процедури. Але багато хворих важче переносять очищення крові капілярними дозаторами.

Діалізатори (гемодіалізатори) – технічні пристрої для виконання функцій гемодіалізу та ультрафільтрації в апараті «Штучна нирка». **Типи діалізаторів:**

1. Діалізатор у формі барабану, що обертається, на якому спірально в один шар намотано целофанову трубку (рис. а). Барабан частково занурювався у ємність із діалізатом. Саме такими за будовою були перші діалізатори. Діалізат зазвичай являв собою фізіологічний розчин повареної солі. Коли барабан обертався, відбувалася дифузія речовин з крові у діалізат і навпаки.



А)

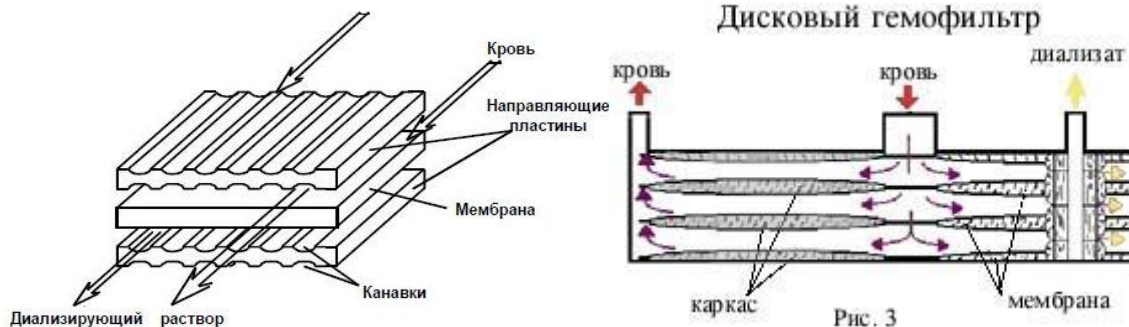


Рис. 3

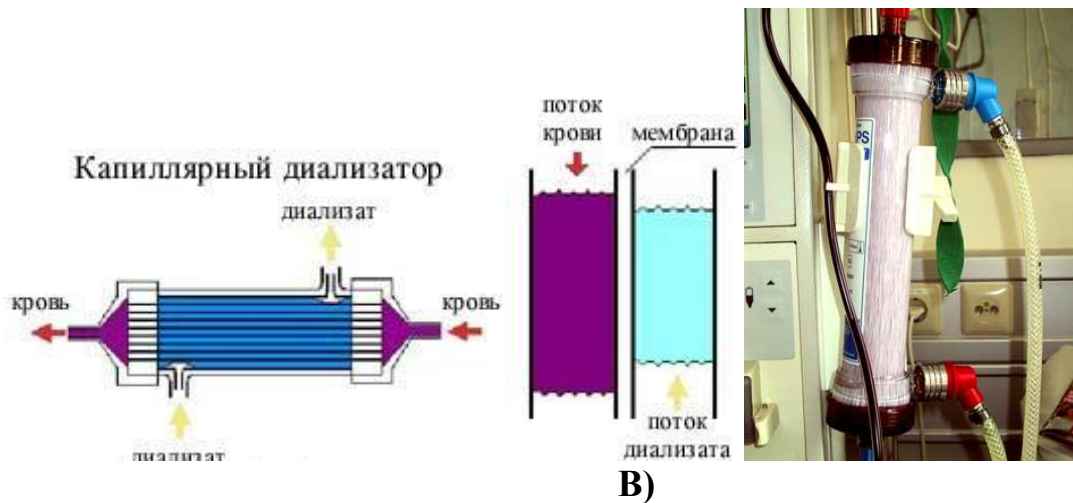


Рис. Види діалізаторів

2. Діалізатори котушкового типу – трубка з напівпроникної мембрани, намотана у декілька шарів на тверду основу циліндричної форми. Для запобігання збільшення об'єму трубки при циркуляції крові її з обох боків обмежують пластиковими жорсткими стінками (рис. А2). Ці діалізатори були першими, які було запущено у масове виробництво. Однак, вони були виготовлені з легкозаймистих речовин. Целюлозна спіраль була намотана навколо циліндру з жорсткої сітки. Швидкість фільтрації була непередбачуваною.

3. Діалізатори пластинчатого типу (рис. Б). Основними елементами є листи напівпроникної мембрани, які затиснуті між пластинами полімеру (оргстекла) з повздовжніми канавками, які формують спрямовані потоки крові та діалізуючого розчину по обидва боки мембрани. На рис. Б) показаний один з типів пластинчатих діалізаторів – дисковий гемофільтр. Переваги цього типу діалізаторів дозволяли зменшити опір потоку крові, а також додатково не використовувати розчин, що перешкоджає згортанню крові. До того ж рівень фільтрації є легко контрольованим та передбачуваним. Головні переваги полягають в тому, що кількість крові всередині діалізатора є невеликою та низька собівартість.

4. Капілярні діалізатори (рис. Г). Основним їх елементом є напівпроникна мембрана, структура якої являє з тонкостінні капіляри (11-30 мкм) із внутрішнім діаметром 100-200 мкм. Пучки, які містять тисячі тонких капілярних трубок, розміщуються у циліндричній футляр з прозорого пластику. Цей тип діалізаторів є найбільш розповсюдженим. В них використовується протиток рідини: кров і діаліат течуть у протилежних напрямках – назустріч. Хоча цей метод не є максимально ефективним, однак є делікатним по відношенню до елементів крові та пацієнта. Цей метод зберігає діаліат свіжим при постійній циркуляції. Діалізатори можуть бути різних розмірів.

Більшість **мембран** виготовляється з **похідних целюлози**:

- v целофан,
- v купрофан,
- v нефрофан.

Розміри пор мембрани: 1,5-2,5 мкм, **товщина** мембрани: 10-200 мкм.

До напівпроникних мембран висуваються наступні **основні вимоги**:

- v не виділяти токсичних продуктів під час контакту з кров'ю,
- v забезпечувати ефективне видалення метаболітів і токсинів,
- v забезпечувати достатню швидкість очищення крові,
- v мати високу механічну міцність.

Основні параметри діалізаторів:

1. Показники ефективності роботи діалізатора:

в **Кліренс** – характеризує очисну здатність діалізатора при сталому оновленні діалізуючого розчину:

$$C = v_v \frac{(n_{in} - n_{out})}{n_{in}}, \quad [C] = [v_v] = \frac{\text{мл}}{\text{хв.}}$$

де n_{in} - концентрація речовини, що видаляється, на вході в діалізатор, n_{out} - концентрація речовини, що видаляється, на виході з діалізатору, v_v - об'ємна швидкість перфузії.

в **Діалізанс** – характеризує роботу діалізатора по очищенню крові при рециркуляції діалізуючого розчину, коли під час діалізації зростає концентрація речовини, що видаляється, у діалізуючому розчині:

$$D = v_v \frac{(n_{in} - n_{out})}{(n_{in} - n_{ex})}, \quad [D] = [v_v] = \frac{\text{мл}}{\text{хв.}}$$

де n_{ex} - концентрація речовини, що видаляється, в діалізуючому розчині.

2. Площа діалізуючої поверхні (загальна площа всіх мембран 0.24-2.5 м²).

Густина потоку речовини через мембрану описується рівнянням Фіка:

$$J = -D \frac{dn(x)}{dx}$$

де x - напрямок дифузії, $n(x)$ - розподіл концентрації, D - коефіцієнт дифузії.

Хімічним способом це здійснюється за допомогою заздалегідь визначеного хімічного складу діалізуючого розчину, а також утворенням хімічних сполук речовини, що видаляється, з елементами розчину. Розчин обов'язково повинен мати:

в катіони: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ,

в аніони ацетону і Cl^- .

Основа розчину – вода. Для її очистки використовуються методи:

в механічна очистка (фільтрація),

в дистиляція,

в демінералізація за допомогою іонно-обмінних смол.

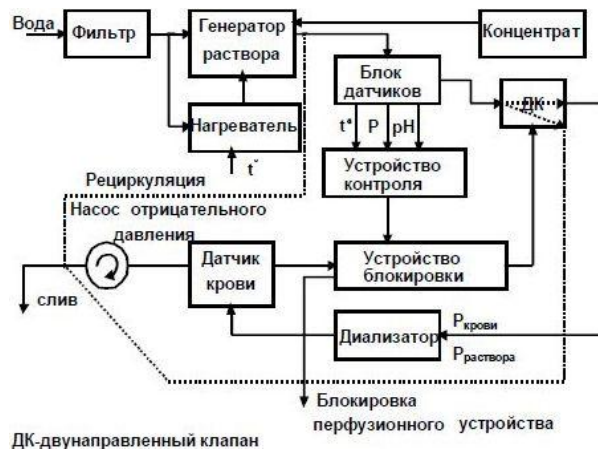
Діалізуючий розчин **використовують** трьома способами:

в рециркуляція – готовий діалізуючий розчин циркулює в одному замкненому контурі,

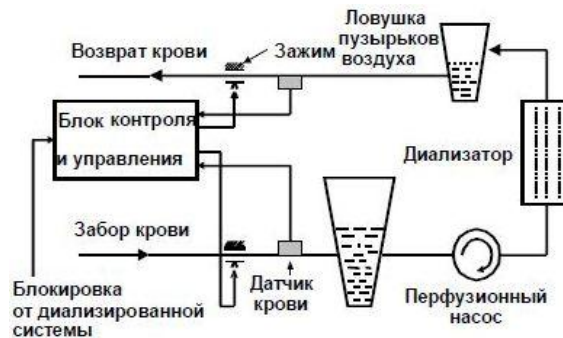
в система зливання – діалізуючий розчин одноразово проходить через діалізатор і потім видаляється,

в поєднання системи рециркуляції та системи зливання.

Приготування діалізуючого розчину здійснюється або порціонним способом (попередньою підготовкою заданого об'єму), або неперервним. При неперервному способі йде процес змішування води з 30-35% концентратом у спеціальних дозаторах (генераторах діалізуючого розчину). Функціональна схема діалізуючої системи показана на рис.



Практика гемодіалізу має приклади використання АШН без перфузійних пристроїв. І саме в цьому випадку застосовується метод **артеріо-венозного шунта**. Роль перфузійного пристрою виконує **серце самого пацієнта**. Однак, у більшості випадків клінічної практики використовується метод перфузії, який реалізується за допомогою технічних пристроїв. Функціональна схема такого пристрою наведена на рис.



В якості перфузійних насосів використовуються такі ж конструкції, як і в апаратах штучного кровообігу (мембранні, роликові, пальчикові).

Під'єднання кровоносної системи пацієнта до перфузійного пристрою здійснюється за допомогою спеціальних катетерів. Для захисту життя пацієнта у критичних ситуаціях вводиться система блокування.

Основні технічні параметри АШН:

- ν об'єм заповнення по крові – 200 см^2 ,
- ν максимальні витрати крові – 600 см^3 ,
- ν середня об'ємна швидкість очистки крові при продуктивності по крові $200 \text{ мл/хв.} - 300 \text{ мл/год}$,
- ν максимальний перепад тисків кров-розчин в діалізаторі – 150 мм рт.ст.

Швидкість потоку під час застосування препарату як замісного розчину при гемофільтрації і гемодіафільтрації така:

- дорослі і підлітки: $500-3000 \text{ мл/год}$;
- діти: $15-35 \text{ мл/кг/год}$.

Швидкість потоку для діалізного розчину (діалізату) при тривалому гемодіалізі та тривалій гемодіафільтрації становить:

- дорослі і підлітки: $500-2500 \text{ мл/год}$;
- діти: $15-30 \text{ мл/кг/год}$.

Звичайно швидкість потоку для дорослих пацієнтів дорівнює приблизно 2000 мл/год , що відповідає добовій кількості 55 л .

Апарати «Штучна нирка» використовуються, як правило, в стаціонарних клінічних умовах при хірургічних операціях та активній терапії під час лікування таких захворювань:

- v травми, пов'язані з порушенням функцій нирки,
- v онкологічні захворювання нирок,
- v захворювання органів сечової системи,
- v отруєння,
- v порушення електролітичного балансу,
- v інтоксикація про опіках,
- v тяжкі, що не підлягають звичайної терапії, набряки мозку та легенів,
- v операції по пересадці донорських нирок.

Застосування АШН протипоказано при порушенні функції згортання крові і кровотечах.

Перитонеальний діаліз є одним з відносно простих методів детоксикації організму. Звичайно його застосовують при відсутності необхідності в терміновій корекції гуморальних зсувів, а також при наявності протипоказань до гемодіалізу, плазмаферезу (шлунково-кишкова кровотеча) і ін.

Перитонеальний діаліз є ефективним способом видалення з організму сечовини й різних токсичних речовин при ГПН різного походження, отруєннях і ін.



Рис. Методика проведення перитонеального діалізу

Застосування цього методу дозволяє видаляти із промивною рідиною психофармакологічні препарати, різні токсичні речовини, бактерії, метаболіти, а також продукти тканинного розпаду із черевної порожнини й у такий спосіб запобігти їхнє подальше надходження в кров'яне русло. Завдяки видаленню із промивною рідиною великої кількості бактерій і токсинів, згустків крові й плівок фібрину, вдається ліквідувати прояву перитоніту.

Існують два методи проведення перитонеального діалізу: безперервний і переривчастий. При безперервному (проточному) перитонеальному діалізі дренажні трубки з більшою кількістю отворів вводять через розрізи або проколи в бічних відділах черевної стінки. Трубки звичайно розташовуються у верхньому відділі черевної порожнини й у порожнині таза. Потім дренажні трубки фіксують на шкірі шовковими лігатурами. Дві верхні трубки за допомогою трійника підключають до посудини для забору рідини, що відтікає із черевної порожнини. Попередньо в посудину заливають який-небудь дезінфікуючий розчин (фурациліну, діоксидину).

Безперервний діаліз проводиться через систему трубок зі швидкістю 1-2 л/год протягом 8-12 год. При цьому діалізуючий розчин через один катетер попадає в черевну порожнину, а через інші, звичайно на протилежній стороні, виводиться.

Переривчастий (фракційний) перитонеальний діаліз заснований на періодичному заповненні черевної порожнини за допомогою однієї трубки 1,5-2 л діалізуючого розчину. Через 45-120 хв діалізуючий розчин заміняють. Цю процедуру повторюють протягом 12-36 год. У цьому випадку важливий правильний підбір діалізуючої рідини. У цей час до складу діалізуючого розчину включають декстранові препарати, гідрокортизон, білки, електроліти, гепарини, що дозволяє істотно збільшувати ефективність діалізу. У цьому випадку молекули токсичних речовин будуть додатково сорбуватись білком або мікромолекулами, поки не відбудеться їхнє повне насичення. Найпоширеніший склад діалізуючого розчину наступний: натрію хлориду - 6 г, кальцію хлориду - 0,25 г, магнію хлориду - 0,17 г, натрію гідрокарбонату - 3 г, калію хлориду - 0,3 г, глюкози - 3 г, дистильованої води - до 1 л. У випадку гіпергідратії кількість введення глюкози варто збільшити до 50 г.

Лужні діалізуючі розчини вибірково збільшують швидкість виведення барбітуратів. Додавання в діалізуючий розчин альбуміну підвищує вихід і утримання в діалізуючому розчині різних хімічних препаратів. При цьому виведення психотропних отрут зростає в 2,5 рази за рахунок їхньої неспецифічної сорбції на білкових молекулах. Це створює додаткові умови для ефективного видалення їх з організмів. У хворих з нирковою недостатністю проведення перитонеального діалізу дозволяє видалити за сеанс у середньому 60-70 г сечовини.

При проведенні діалізу необхідно стежити за температурою розчину, що вводять; вона повинна бути в межах 37-38 С. При зниженні температури можливе переохолодження хворого, що проявляється ознобом. Паралельно проводиться симптоматична терапія, спрямована на відновлення гемодинаміки.

Другою важливою умовою, якої необхідно дотримуватись при проведенні перитонеального діалізу, є підтримка осмолярності діалізуючого розчину в межах 380-420 мосм/л. При низькій осмолярності діалізуючого розчину настає його зворотна дифузія в судинне русло, що може призвести до набряку легенів хворого.

У зв'язку із цим в листі спостереження варто ретельно відзначати кількість, що надійшла протягом доби в черевну порожнину діалізуючого розчину й кількість розчину, що виділилась із черевної порожнини. Недотримання цього правила може призвести до неконтрольованої затримки рідини в позаклітинному просторі організму з наступним розвитком пастозності й набряку тканин.

Ретельна підтримка водно-електролітного балансу й дотримання антисептики при здійсненні перитонеального діалізу дозволяє уникнути ряду ускладнень.

Для виключення інфікування черевної порожнини необхідно обробити спиртом шкіру навколо дренажних трубок і ретельно фіксувати їх до шкіри смужками лейкопластиру. Дренажні трубки повинні бути з'єднані із пластиковими стерильними ємностями для створення негативного тиску.

Перитонеальний діаліз протипоказаний при обмеженому перитоніті, а також при наявності інфекційного вогнища в черевній порожнині або органах таза, при порушенні цілості кишки. Виконання перитонеального діалізу утруднено при поганому відтоці рідини із черевної порожнини. Накопичення її приводить до обмеження рухливості діафрагми й збільшення важкості стану хворого.

Протипоказання до проведення гемодіалізу. Метод очищення крові за допомогою «штучної нирки» протипоказаний в наступних випадках: Артеріальна гіпертензія тяжкого ступеня. Гострі вірусні та бактеріальні інфекції. Відкрита форма туберкульозу. Інфаркт та інсульт. Порушення згортання крові. Дані протипоказання не беруться до уваги при загрозі життю пацієнта, і проводиться

підключення до «нирці». Адже гемодіаліз створений для продовження життя пацієнта, тому враховуються всі ризики і робляться спроби для їх усунення.

