

ХАРАКТЕР МОФРОЛОГІЧНИХ ЗМІН НЕФРОНА ТА ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ ЙОГО РЕПАРАТИВНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА УМОВ КЛІТИННОГО ЗНЕВОДНЕННЯ

РЕЗЮМЕ. Мета роботи – оцінити в експериментальних умовах вплив клітинного зневоднення різного ступеня на характер структурних змін нефрона та особливості динаміки репаративних процесів у відновлювальний період.

Матеріал і методи. Дослідження проводилося на 70 молодих білих щурах-самцях лінії Vistar, які були розділені на 2 групи – інтактні та адаптовані до зневоднення. Збір матеріалу для мікроскопічного та електронно-мікроскопічного досліджень нирки проводили згідно з загальноприйнятими правилами. Морфометричні та кількісні дослідження проводили, використовуючи систему візуального аналізу гістологічних препаратів.

Результати. Проведені мікроскопічні та морфометричні дослідження виявили зв'язок між терміном дії зневоднення та глибиною ушкоджень як компонентів фільтраційного бар'єру, так і структур, які беруть участь у процесах реабсорбції. Вивчення особливостей і закономірностей щодо реадaptaційних процесів організму на дію екстремальних факторів за умов адаптації дало можливість встановити, що першими індикаторами порушень клубочково-канальцевої системи є базальні мембрани в складі стінок судин мікроциркуляторного русла, мембранні формування епітелію. В міру збільшення впливу зневоднюючого фактора виникають дистрофічні та атрофічні зміни структур нефрона, що спричиняє порушення їх функції. Процес реадaptaції включає комплекс компенсаторних змін, які забезпечують пристосування до умов. Позитивні зміни щодо структурної організації кіркової речовини нирки, які відбуваються вже на 3-му тижні реадaptaції після клітинного зневоднення, та канальців нефрона на 6-му тижні свідчать, що процеси реадaptaції у тварин, адаптованих до клітинного зневоднення, відбуваються активніше і швидше у всіх структурних компонентах нефрона. Після важкого ступеня клітинного зневоднення репаративні процеси відбуваються повільніше, проте, призводять до повної нормалізації структур нефрона.

Висновки. Дослідження структурної організації нефрона за умов впливу на нього клітинного зневоднення, а також вивчення характеру впливу і механізму адаптації встановило, що структурні компоненти нефрона миттєво реагують на порушення водно-електролітного обміну організму зміною їх структурної організації. Ці зміни значні при важкому ступені клітинного зневоднення, для їх відновлення потрібен тривалий час, проте, вплив несприятливого фактора спричинив активізацію компенсаторно-пристосувальних реакцій, а процес реадaptaції виникає швидше в адаптованого до зневоднення організму.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: нирка, ниркове тільце, канальці нефрона, лабораторні тварини, зневоднення, адаптація, реадaptaція.

Вступ. В умовах, коли дія факторів зовнішнього середовища все частіше завдає шкоди здоров'ю, проблема зневоднення організму, вивчення пристосувально-компенсаторних і деструктивних процесів в організмі при дегідратації особливо актуальні [1, 2]. Ці порушення часто призводять до важких функціональних розладів і визначають тяжкість перебігу захворювання [3, 4]. Не завжди легко диференціювати звичайні клітинні та тканинні реакції у відповідь на той чи інший вплив, який не виходить за межі фізіологічних норм [5, 6, 7]. У вітчизняній і зарубіжній літературі є дані про структурні зміни серця, щитоподібної залози, печінки, надниркових залоз в умовах дегідратації організму [5, 6, 8], 9. Проте, реактивні фізіологічні та деструктивні зміни, які відбуваються в нирці при клітинному зневодненні, залишаються ще недостатньо вивченими.

Мета – оцінити в експериментальних умовах клітинного зневоднення різного ступеня вираження характер структурних змін нефрона та особливості динаміки репаративних процесів у відновлювальний період.

Матеріал і методи дослідження. Дослідження виконано на 70 молодих білих щурах-самцях лінії Vistar, яких було поділено на 2 групи. Тварини першої групи (10 щурів) були інтактні, тварини другої групи були адаптованими (60 щурів). Адаптація до зневоднення досягалася шляхом чергування маломінералізованої дієти на тлі 1,5 % гіпертонічного розчину кухонної солі (2 дні) та звичайного раціону віварію (1 день) протягом 42 днів. Клітинне зневоднення моделювали у тварин другої групи шляхом введення тваринам 1,5 % гіпертонічного розчину кухонної солі, висушеного вівса та сухарів. Ступінь зневоднення ви-

значали за величиною водного дефіциту. На наступному етапі експерименту тварин переводили на звичайне харчування віварію і визначали ре-адаптаційні зміни через 1, 3, 6 і 12 тижнів після припинення дії фактора, що зневоднює.

Дослідження морфологічного стану структурних компонентів нирки проводили за допомогою мікроскопічного, електронномікроскопічного, морфометричного та статистичного методів. Експерименти, які здійснювались на тваринах, проводились з дотриманням Міжнародних принципів Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для експериментів та інших наукових цілей (Страсбург, 1985).

Матеріал брали під ефірним наркозом у заздалегідь зважених тварин усіх груп. Його фіксували в 10 % розчині нейтрального формаліну, зневоднювали в спиртах зростаючої концентрації, заливали парафінові блоки. Зрізи товщиною 5–6 мкм, пофарбовані гематоксилін-еозином, досліджували у світлооптичному мікроскопі та документували.

Для електронно-мікроскопічного дослідження матеріал фіксували у 2,5 % розчині глутаральдегіду з активною реакцією середовища рН 7,3–7,4, приготовленому на фосфатному буфері Міллоніга. Фіксований матеріал переносили в буферний розчин і промивали. Постфіксацію здійснювали 1 % розчином чотириокису осмію на буфері Міллоніга, після чого проводили дегідратацію в спиртах та ацетоні й заливали в суміш епоксидних смол згідно з загальноприйнятою методикою. Ультратонкі зрізи фарбували 1 % водним розчином уранілацетату, контрастували цитратом свинцю за методом Рейнольдса та вивчали в електронному мікроскопі ЕМІ-100 ПМ.

Морфометричні та кількісні дослідження проводили, використовуючи систему візуального аналізу гістологічних препаратів.

Для об'єктивної характеристики адаптаційних та деструктивних змін стану ниркових тілець та каналців проводили їх морфометрію. У межах кори нирки оцінювали площі ниркових тілець (Ст), судинних клубочків (Скл), капсули Шумлянського-Боумена (Ск-ли), площі проксимальних ка-

нальців (СклПр), площі дистальних каналців (СклДс), їх клітин та ядер: висота епітеліоцитів проксимальних каналців (нвПр), висота епітеліоцитів дистальних каналців (нвДс).

Обробку цифрових даних проводили методом Стюдента на персональному комп'ютері. Достовірною вважали можливість похибки менше 5 % ($p < 0,05$).

Результати дослідження. Унаслідок періодичного впливу несприятливого зневоднювального фактора у паренхімі нирок щурів спостерігались незначні зміни структурних компонентів нефрона, які проявлялись збільшенням у розмірах ниркових тілець (середнє значення їх площі $(3918 \pm 1,07)$ мкм²), при цьому вони зберігали свою структурованість, проте спостерігалось їх помірне кровонаповнення (середня площа судинних клубочків – $(3223 \pm 1,02)$ мкм², зменшення просвіту капсули Шумлянського-Боумена з $(726 \pm 3,7)$ мкм² до $(695 \pm 2,7)$ мкм²).

Електронно-мікроскопічні дослідження показали, що в цей період, який вважали періодом адаптації до зневоднення, судинні клубочки та епітеліоцити каналців знаходились у стані функціональної напруги як результат підвищеного навантаження на нирку. Подоцити в складі внутрішнього листка капсули мали великих розмірів масивні цитотрабекули, від яких щільно прилягали цитоподії до базальної мембрани. Довготривала адаптація викликала гіпертрофію мітохондрій, у просвітленому матриксі яких спостерігалась невелика кількість крист.

Досліджуючи ниркові тілця та каналці нефрона за допомогою електронної мікроскопії при дегідратації легкого, середнього та важкого ступенів всі зміни поділили на дві групи: гіпертрофічно-гіперпластичні (Г) та дистрофічно-атрофічні (А). При зневодненні важкого ступеня переважали дистрофічні зміни над компенсаторними.

Гіпертрофічні зміни призвели до збільшення розмірів ниркових тілець: при зневодненні легкого ступеня їх площа збільшилась до $(4042 \pm 1,47)$ мкм², при зневодненні середнього ступеня – $4509 \pm 1,52$ мкм², при важкого – $(4866 \pm 1,72)$ мкм² (табл. 1).

Таблиця 1. Морфометричні показники структурних компонентів нефрона експериментальних тварин у нормі та при клітинному зневодненні різного ступеня тяжкості

Морфометричні показники	Інтактні тварини n=10	Легкий ступінь зневоднення n=20	Середній ступінь зневоднення n=20	Важкий ступінь зневоднення n=20
1	2	3	4	5
Ст	3971±1,16	4042±1,47*	4509±1,52	Г 4866±1,72 А 3479±9,3
Скл	3245±9,2	3072±1,15	3554±1,06	Г 3781±1,17 А 3114±8,6

1	2	3	4	5
Ск-ли	726±3,7	970±3,1	955±2,9	Г 1085±4,5 А 365±1,4

Примітка. * $P_1 > 0,05$ щодо показників інтактних щурів; $P < 0,05$ у всіх інших випадках; Г – гіпертрофовані ниркові тільця; А – атрофовані ниркові тільця.

У результаті проведених досліджень також встановлено, що при тяжкому ступені зневоднення деструкції піддається апікальна частина епітеліоцитів каналців нефрона, що містить мікроборсинки. Відбуваються також порушення на базальних полюсах клітин, де зникає поперечна посмугованість (рис. 1).

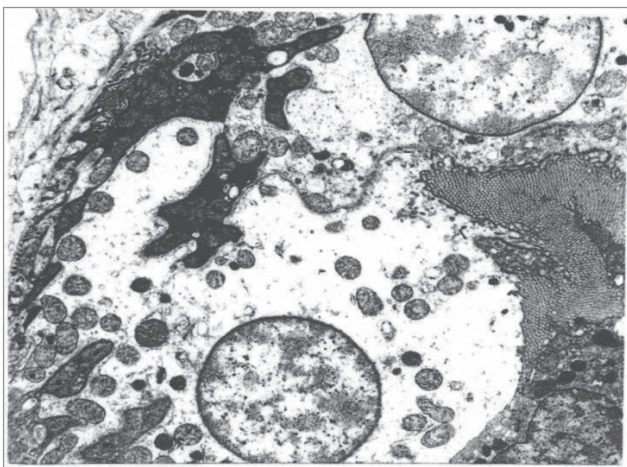


Рис. 1. Ультраструктурна організація епітеліоцитів проксимального відділу нефрона при тяжкому ступені клітинного зневоднення щурів. Деструкція органел у цитоплазмі епітеліоцитів, руйнування базальної "поперечної посмугованості". $\times 9\ 000$.

Морфометрично встановлено збільшення площі проксимальних каналців, зменшення висоти епітеліоцитів та розширення їх просвіту. Часткове зникнення мікроборсинок на апікальних поверхнях та зменшення висоти клітин на 25,7 % призвело до збільшення просвітів каналців на 13,9 %, а

діаметр просвітів каналців збільшився на 4,9 % щодо показників норми. Морфометричні дослідження проксимальних каналців показали, що діаметр каналців при тяжкому ступені зневоднення становить $(35,0 \pm 1,0)$ мкм, що на 7,0 % більше за показники норми. Висота клітин цього відділу нефрона знижується до $6,58 \pm 0,23$ мкм, збільшується діаметр просвіту каналців до $(20,81 \pm 0,63)$ мкм, що на 29,5 % більше щодо показників норми.

Повторне насичення попередньо зневодненого організму водою в період реадптації після клітинного зневоднення протягом різних термінів (1, 3, 6 та 12 тижнів) показало особливості структурних перебудов внаслідок регідратації.

Світлооптичні, морфометричні та електронномікроскопічні дослідження при 7-денній реадптації після впливу клітинного зневоднення не виявили суттєвих покращень структур нефрона.

При тритижневій реадптації після зневоднення легкого ступеня спостерігалась поступова нормалізація будови ниркових тілець. Вони набували округло-овальної форми, усередині них знаходились судинні клубочки з добре вираженою структурною організацією ендотеліоцитів, базальної мембрани та подоцитів. При морфометричному дослідженні виявлено зменшення площі ниркових тілець до величин норми, проте судинні клубочки все ще залишалися дещо зменшеними (3128 ± 92) мкм², тому просвіти капсул все ще візуалізувались помірно розширеними, порівняно з нормою, і становили (861 ± 40) мкм², достовірно відрізняючись від показників інтактних тварин (рис. 2).

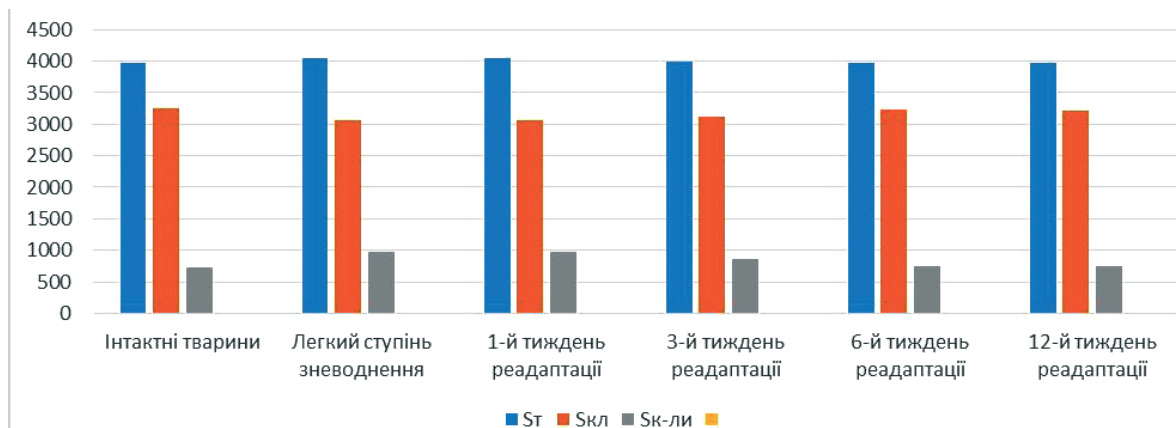


Рис. 2. Морфометричні показники компонентів нефрона при легкому ступені зневоднення та в різні періоди реадптації.

У цей термін реадaptaції після зневоднення середнього ступеня субмікроскопічно у проксимальних та дистальних звивистих каналцях спостерігались гіпертрофічні зміни мітохондрій. Епіте-

ліоцити проксимального відділу нефрона мали виражені мікрворсинки на своїх апікальних полюсах. Морфометричні показники збігаються з даними електронної та світлової мікроскопії (рис. 3).

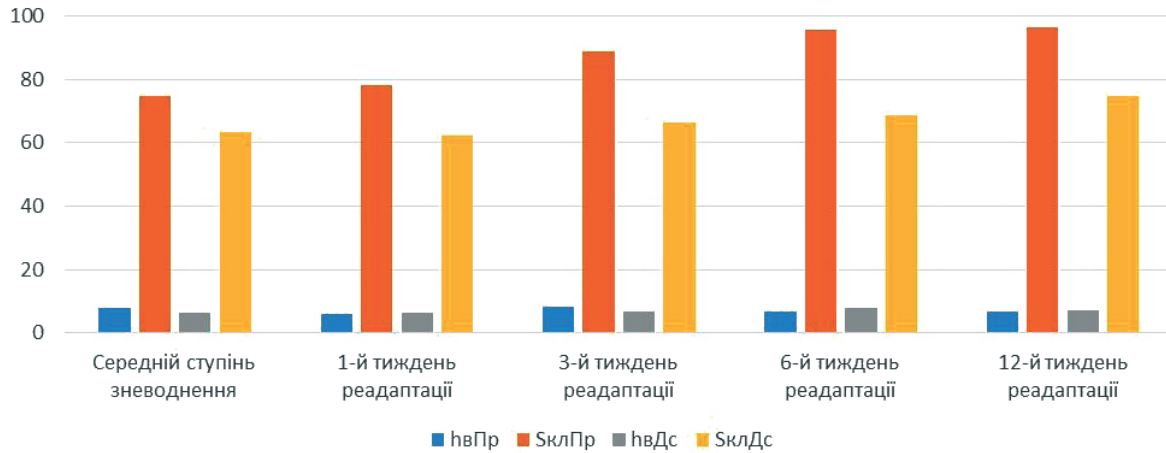


Рис. 3. Морфометричні показники компонентів ниркових каналців при середньому ступені зневоднення та в різні періоди реадaptaції.

Період 6–12 тижнів перебування тварин на нормальному харчовому раціоні характеризується хорошим поступовим прогресом відновлювальних процесів.

Мікроскопічні дослідження на 6–12 тиждень регідратації показали, що процеси регенерації відбуваються нерівномірно. Регенераторні процеси значно покращили структурний стан нирок, проте в кірковій речовині наявні залишкові явища дії пошкоджувального фактора. Під світловим мікроскопом у полі зору відзначався різний морфофункціональний стан структурних компонентів як ниркових тілець, так і каналців. На окремих ділянках кори нирок відзначався поліморфізм ниркових тілець, рідше візуалізувались атрофо-

вані, проте було багато гіпертрофованих тілець. Відзначались ниркові тільця невеликих розмірів, але збільшені просвіти капсул, окремі тільця були зменшеними в розмірах та поодинокі, у них спостерігались ущільнення судинних клубочків та виразне збільшення просвіту капсули Шумлянського-Боумена.

Морфометричні показники структурних компонентів ниркових тілець нефрона у різні періоди реадaptaції після середнього ступеня зневоднення помірно наближались до показників інтактних тварин, починаючи з 3-го тижня реадaptaції (рис. 4).

Апікальні полюси епітеліоцитів проксимальних каналців добре контурувались, покращува-

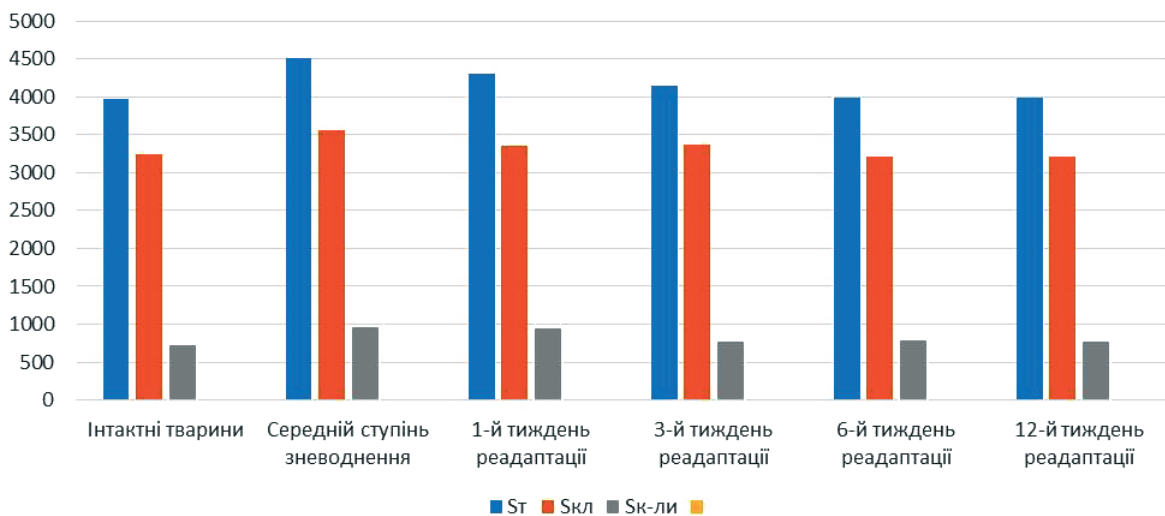


Рис. 4. Морфометричні показники компонентів ниркових тілець при середньому ступені зневоднення та в різні періоди реадaptaції.

Огляди літератури, **оригінальні дослідження**, погляд на проблему, випадок з практики, короткі повідомлення

лась візуалізація поперечної посмугованості базальних полюсів клітин, а саме на всіх ділянках мітохондрії мали упорядковане розташування поміж складками плазмолемі.

Морфометричні дослідження в цей період реадaptaції показали, що площі гіпертрофованих і атрофованих ниркових тілець наближались до показників інтактних тварин і становили $(4207 \pm 1,32)$ мкм² та $(3798 \pm 9,2)$ мкм² при тяжкому ступені зневоднення відповідно.

Площі судинних клубочків гіпертрофованих мальпігієвих тілець зберігались збільшеними і ста-

новили $(3437 \pm 7,8)$ мкм² у порівнянні з показниками норми.

Висота, ширина і площа епітеліоцитів, які утворюють стінки дистальних канальців, достовірно не відрізнялись від показників як при 6-, так і при 12-тижневій реадaptaції при середньому ступені зневоднення (рис. 5) і склали на 6-й тиждень $(7,81 \pm 0,32)$ мкм, $(9,68 \pm 0,37)$ мкм, $(68,9 \pm 2,3)$ мкм², а на 12-й тиждень ці показники дорівнювали $(7,20 \pm 0,44)$ мкм, $(9,71 \pm 0,36)$ мкм, $(74,72 \pm 1,9)$ мкм² відповідно. Аналогічні позитивні зміни спостерігались в динаміці діаметрів і площ канальців нефрона.

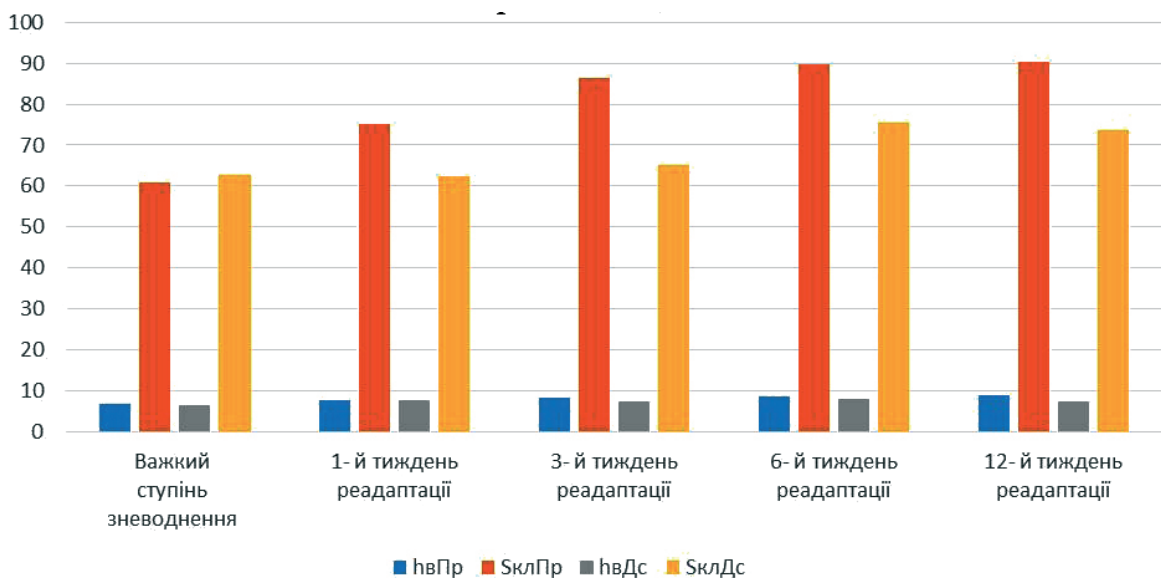


Рис. 5. Морфометричні показники структурних компонентів нефрона при тяжкому ступені зневоднення та в різні періоди реадaptaції.

Субмікроскопічні дослідження кори нирок через 12 тижнів реадaptaції показали, що попри тривалий термін експерименту, у структурі частини нефронів все ще зберігались патологічні зміни. Зокрема, в 27 % судинних клубочків спостерігались великих розмірів ядра в ендотеліоцитах, у каріоплазмі відзначався високий вміст рибосомальних гранул і нерівномірне потовщення перинуклеарного простору. У парануклеарній зоні цитоплазми візуалізувались гіпертрофовані мітохондрії, багато рибосом, а також зустрічались великі вакуолоподібні структури. Проте, базальна мембрана зберігла чітку структурну організацію, була тришарова, візуалізувалась добре виражена фенестрація периферійних ділянок ендотелію. На окремих ділянках візуалізувались невеликих розмірів цитоподії, які щільно прилягали до базальної мембрани та тісно розташовувались, контактуючи між собою.

Тривала регідратація також позитивно вплинула на субмікроскопічну будову канальців. На апікальній поверхні епітеліоцитів проксимальних канальців візуалізувалась чітко структурно орга-

нізована система мікроворсинок, а на базальному полюсі – добре виражена «базальна посмугованість», що свідчить про активне функціонування компонентів реабсорбційного бар'єру (рис. 6).

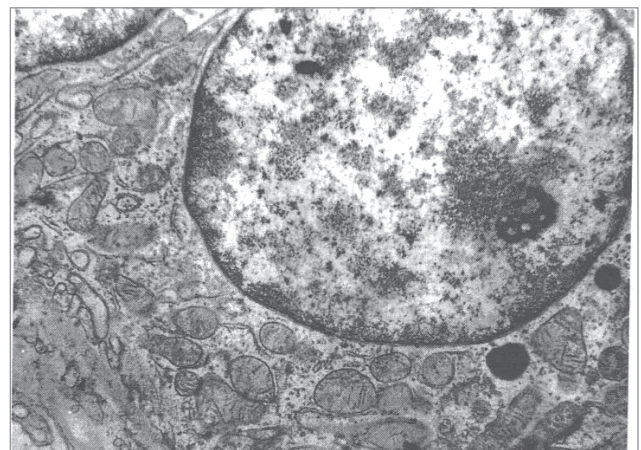


Рис. 6. Фрагмент проксимального звивистого канальця нефрона через шість тижнів після тяжкого ступеня клітинного зневоднення. Епітеліоцити з помірною щільністю органел і добре структурованими ядрами. $\times 15\ 000$.

У більшості епітеліоцитів в складі стінки проксимальних каналців у світлій цитоплазмі візуалізувалися добре структуровані органели. Переважно це різні за розмірами і формою мітохондрії з помірно осміофільним матриксом, окремі каналці гранулярної ендоплазматичної сітки та цистерни і вакуолі комплексу Гольджі, невеликі лізосоми та пухирці. Спостерігались великі ядра з переважанням в каріоплазмі еухроматину та чіткого ядерця. Каріолема рівномірна, перинуклеарні простори невеликі, добре контуровані.

Обговорення. Інтенсивні тренування, виснажлива робота, інфекційні захворювання часто супроводжуються зневодненням організму, яке може бути зумовлене як обмеженням потрапляння води в організм, так і надмірними її втратами [4, 10, 11]. Зневоднення, зокрема, важкого ступеня, може призвести до розвитку тяжкого ускладнення, такого як гіповолемічна форма шоку.

Одним із фізіологічних законів є закон сталості внутрішнього середовища організму, або закон збереження гомеостазу [1, 12]. Поняття про сталість "внутрішнього середовища" включає в себе не лише кількість, а й якість, яка забезпечує клітини поживними речовинами, будівельним матеріалом, підтримує в них фізико-хімічні константи температури, осмотичного тиску, рН, концентрацію органічних та неорганічних речовин і їх сполук.

Серед внутрішніх органів, які зберігають гомеостаз і забезпечують його сталість, найбільшу роль відіграють нирки, тому що основними важливими функціями даного органа є регулювання водного балансу, кислотно-лужної рівноваги, іонного складу крові, рівня артеріального тиску, виведення з організму азотистих продуктів розпаду білків, а також виконання ендокринної та інших важливих функцій [2, 4, 10].

Унаслідок періодичного впливу несприятливого зневоднювального фактора у паренхімі нирок щурів судинні клубочки та епітеліоцити каналців знаходяться в стані функціональної напруги як результат підвищеного навантаження на нирку. Зміни конфігурації та розмірів педикул подоцитів впливають на величину фільтраційних щілин, що регулюють проникність гломерулярного фільтра [10, 11]. У зв'язку з цим підвищення його проникності супроводжується перебудовою ультраструктури клітин проксимального відділу нефрона.

Першими індикаторами порушень у клубочково-каналцевої системі є базальні мембрани в складі гемокапілярів, епітелію, про що свідчать дані інших науковців [11, 13].

За умов впливу зневоднення з'являються морфологічні ознаки порушень процесу клубочкової фільтрації, на що вказують зміни структур-

них компонентів гломерулярного фільтра. Вже при легкому ступені зневоднення зазначається, що в міру збільшення впливу зневоднювального фактора на базальну мембрану, вона потовщується, втрачає свою тришарову структурну організацію, стає гомогенною та осміофільною. Поступово ушкоджуються подоцити та ендотеліоцити гемокапілярів, піддаючись дистрофії.

Атрофічно-дистрофічні зміни ниркових тілець, які відзначаються при зневодненні тяжкого ступеня, і проявляються не лише зморщуванням судинних клубочків, а й запустінням ниркових тілець, негативно впливають на трофіку проксимальних і дистальних каналців, викликаючи порушення їх структурної організації та виконання сечоутворювальної функції [5, 14].

При дії клітинного зневоднення ушкоджується структура всього нефрона, хоча зміни в каналцевій частині виражені зазвичай більше, ніж у клубочковій, що залежить від морфофункціональних особливостей відділів нефрона, характеру їх метаболізму, чутливості до умов, що змінилися, послідовності включення резервних нефронів у компенсаторно-приспосувальні реакції.

Процес реадaptaції після повторного насичення попередньо зневодненого організму водою після зневоднення тварин включає комплекс морфологічних змін після впливу клітинної дегідратації, спрямованих на відновлення втрачених або ослаблених функцій клітин і тканин, їх пристосувально-компенсаторні зміни, що забезпечують його пристосування до певних умов.

Структурні перетворення клітин під час реадaptaції можуть проявлятися в підвищеній стабілізації клітинних мембран і несприйнятливості тканин до інтенсивних впливів. При цьому зазнають змін в першу чергу мітохондріальні мембрани, згодом – гранулярна ендоплазматична сітка, що призводить до дезінтеграції синтезу білків і розладів у внутрішньоклітинній транспортній системі. Ці зміни спрямовані на відновлення гомеостазу і спостерігаються як при дії на організм хімічних, фізичних та біологічних факторів, так і при фізіологічній регенерації та патології. Тобто існують закономірності структурних змін, які визначають напрямок, глибину і зворотний розвиток компенсаторно-приспосувальних реакцій [2, 10, 15].

Попередня адаптація в умовах зневоднення призводить до нівелювання впливу дегідратаційного фактора, що проявляється у меншому вираженні структурно-метаболічних порушень і посиленні енергетичного обміну.

Позитивні зміни щодо структурної організації кіркової речовини нирки, які відбуваються вже на 3-му тижні реадaptaції після клітинного зневоднення, та каналців нефрона на 6-му тижні, свід-

Огляди літератури, **оригінальні дослідження**, погляд на проблему, випадок з практики, короткі повідомлення

чать, що процеси реадaptaції у тварин, адаптованих до клітинного зневоднення, відбуваються активніше і швидше у всіх структурних компонентах нефрона, сприяючи відносній нормалізації їх будови та процесам сечоутворення.

Висновки. Структурні компоненти нефрона миттєво реагують на порушення водно-електролітного обміну організму зміною їх структурної організації. Ці зміни значні при тяжкому ступені клітинного зневоднення, для їх відновлення потрібен тривалий час, проте вплив несприятливого фактора спричинив активізацію компенсаторно-приспосувальних реакцій, а процес реадapta-

ції виникає швидше в адаптованого до зневоднення організму.

Джерела фінансування. Власні кошти авторів.

Внесок авторів:

Л. Я. Федонюк – розробка ідеї дослідження; проведення дослідження; аналіз та оформлення отриманих результатів.

О. Б. Фурка – проведення наукового пошуку, огляд літератури, графічне оформлення отриманих результатів.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

ЛІТЕРАТУРА

1. World Kidney Day Joint Steering Committee. Are your kidneys Ok? Detect early to protect kidney health / J. A. Vassalotti et al. *Kidney International*. 2025. Vol. 107, Issue 3. P. 370–377.

2. Kidney health for all: preparedness for the unexpected in supporting the vulnerable / Li-Li Hsiao et al. *Kidney International*. 2023. Vol. 103, Issue 3. P. 436–443.

3. Fulfillment and Validity of the Kidney Health Evaluation Measure for People with Diabetes. Mayo Clinic Proceedings: Innovations / Silvia Ferrè et al. *Quality & Outcomes*. 2023. Vol. 7, Issue 5. P. 382–391.

4. Hyperosmolar dehydration: A predictor of kidney injury and outcome in hospitalised older adults / A.M. El-Sharkawy et al. *Clinical Nutrition*. 2020. Vol. 39, Issue 8. P. 2593–2599.

5. Effects of different dehydration methods on the preservation of aortic and renal glycocalyx structures in mice / Zhi Li et al. *Heliyon*. 2023. Vol. 9, Issue 4. P. e15197 DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e15197.

6. Low-intake dehydration and nutrition impact symptoms in older medical patients – A retrospective study / Jacob Bækgaard Jespersen et al. *Clinical Nutrition ESPEN*. 2023. Vol. 57. P. 190–196.

7. Bradley M., Land D., Thompson D.A., Cwiertny D.M. A critical review of a hidden epidemic: examining the occupational and environmental risk factors of chronic kidney disease of unknown etiology (CKDu). *Environmental Science Advances*. 2024. Vol. 4, Issue 1. P. 57–76.

8. Сабадишин Р. О. Нутріологічні аспекти обміну води в організмі людини. The 3rd International scientific and practical conference «Innovative development of science and education». May 24–26, 2020. ISGT Publishing House, Athens, Greece. 2020. P. 106–116.

9. Клінічний випадок тазової дистопії лівої нирки, ускладненої термінальним гідронефрозом / Беденюк А. Д. та ін. *Вісник медичних і біологічних досліджень*. 2021. № 4 (10). С. 101–104. DOI: 10.11603/bmbr.2706-6290.2021.4.12771

10. Міщенко О. М., Григор'єва О. А., Довбиш І. М., Довбиш М. А. Структурна перебудова паренхіми нирки при її травматичному пошкодженні. Підсумкова LXV науково-практична конференція. *Здобутки клінічної та експериментальної медицини*. Тернопіль. 2022. С. 24–25.

11. Вахновська Х. І. Кількісна характеристика реакцій різних ланок ниркових артерій білих щурів залежно від тривалості загального зневоднення. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. 2024. № 4. С. 72–78. DOI: 10.11603/1811-2471.2024.v.i4.15030

12. Сабадишин Р. О. Структурні проблеми обміну води в організмі людини. *Ліки України*. 2021. № 6 (252). С. 17–21. DOI: 10.37987/1997-9894.2021.6(252).239648

13. Гринцова Н., Ходорова І., Романюк А. М. Морфологічні перебудови аденогіпофізу щурів за умов загального зневоднення організму у віковому аспекті. *Екологічні науки*. 2020. № 2 (29). С. 7–10. DOI: 10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.2.1

14. Пасечко Н. В., Крамаренко Х. О., Склярєва О. О. Хронічна хвороба нирок: актуальність проблеми, причини і наслідки. *Медсестринство*. 2022. № 4. С. 33–39. DOI: 10.11603/2411-1597.2022.4.13772

15. Коц С. М., Коц В. П., Холодняк М. В. Щодо питання споживання води. Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference *Distance learning in universities and modern problems*. Budapest, Hungary. 2023. No. 10. P. 139–144.

REFERENCES

1. Vassalotti JA, Francis A, Soares dos Santos Jr. AC, Correa-Rotter R, Abdellatif D, Hsiao LL, et al. World Kidney Day Joint Steering Committee. Are your kidneys Ok? Detect early to protect kidney health. *Kidney International*. 2025;107[3]:370-377. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0085253824009177>
2. Hsiao LL, Shah KM, Liew A, Abdellatif D, Balducci A, Haris Á, Kumaraswami LA, et al. Kidney health for all: preparedness for the unexpected in supporting the vulnerable. *Kidney International*. 2023; 103(3):436-443. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0085253822010924>
3. Ferrè S, Storfer-Isser A, Kinderknecht K, Montgomery E, Godwin M, Andrews A, Dunning S, et al. Fulfillment and Validity of the Kidney Health Evaluation Measure for People with Diabetes. *Mayo Clinic Proceedings: Innovations, Quality & Outcomes*. 2023; 7(5):382-391. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542454823000413>.
4. El-Sharkawy AM, Devonald MAJ, Humes DJ, Sahota O, Lobo DN. Hyperosmolar dehydration: A predictor of kidney injury and outcome in hospitalised older adults. *Clinical Nutrition*. 2020; 39[8]:2593-2599. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261561419331577>
5. Li Z, Zhang Q, Sun YY, Wu N. Effects of different dehydration methods on the preservation of aortic and renal glycocalyx structures in mice. *Heliyon*. 2023; 9[4]:e15197 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023024040>
6. Jespersen JB, Beck AM, Munk T, Jensen HO, Knudsen AW. Low-intake dehydration and nutrition impact symptoms in older medical patients – a retrospective study. *Clinical Nutrition ESPEN*. 2023; 57:190-196. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2405457723001730>
7. Bradley M, Land D, Thompson DA, Cwiertny DM. A critical review of a hidden epidemic: examining the occupational and environmental risk factors of chronic kidney disease of unknown etiology (CKDu). *Environmental Science Advances*. 2024; 4[1]:57-76. URL: <https://www.sciencedirect.com/org/science/article/pii/S2754700024001287>
8. Sabadyshyn RO. Nutriolohichni aspekty obminu vody v orhanizmi lyudyny [Nutriological aspects of water metabolism in the human body]. The 3rd International scientific and practical conference «Innovative development of science and education». 2020 May 24-26, ISGT Publishing House, Athens, Greece; 2020:106–116. Ukrainian.
9. Bedenyuk AD, Tverdokhlib VV, Mysak AI, Nestoruk SO, Yakymchuk OA, Voytovych LYE. Klinichnyy vypadok tazovoyi dystopiyi livoyi nyrky, uskladnenoyi terminal'nym hidronefrozom [Clinical case of pelvic dystopia of the left kidney, accompanied by terminal hydronephrosis]. *Visnyk medychnykh i biolohichnykh doslidzhen'*. 2021; 4(10):101-104. Ukrainian.
10. Mishchenko OM, Hryhor'yeva OA, Dovbysh IM, Dovbysh MA. Strukturna perebudova parenkhimy nyrky pry yiyi travmatychnomu poshkodzhenni [Structural remodeling of the renal parenchyma following traumatic injury]. *Pidsumkova LKHV naukovo-praktychna konferentsiya. Zdobutky klinichnoyi ta eksperymental'noyi medytsyny. Ternopil'*. 2022; 24–25. Ukrainian.
11. Vakhnovs'ka KHI. Kil'kisna kharakterystyka reaktsiy riznykh lanok nyrkovykh arteriy bilykh shchuriv zalezno vid tryvalosti zahal'noho znevodnennya [The quantitative characteristics of the reactions of various renal artery branches in white rats depending on the duration of total dehydration]. *Zdobutky klinichnoyi i eksperymental'noyi medytsyny*. 2024; 4:72–78. DOI: 10.11603/1811-2471.2024.v.i4.15030 Ukrainian.
12. Sabadyshyn RO. Strukturni problemy obminu vody v orhanizmi lyudyny [Structural problems of water metabolism in human organisms]. *Liky Ukrayiny*. 2021; 6[252]:17–21. DOI: 10.37987/1997-9894.2021.6(252).239648 Ukrainian.
13. Hryntsova N, Khodorova I, Romanyuk AM. Morfolohichni perebudovy adenohypofizu shchuriv za umov zahal'noho znevodnennya orhanizmu u vikovomu aspekti [Morphological changes in the adenohipophysis of the brain under conditions of general dehydration of the body in the age aspect]. *Ekolohichni nauky*. 2020; 2[29]:7–10. DOI: 10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.2.1 Ukrainian.
14. Pasyechko NV, Kramarenko KHO, Sklyarova OO. Khronichna khvoroba nyrok: aktual'nist' problemy, prychny i naslidky [Chronic kidney disease: actuality of problems, causes and consequences]. *Medsestrynstvo*. 2022; 4:33–39. DOI: 10.11603/2411-1597.2022.4.13772 Ukrainian.
15. Kots SM, Kots VP, Kholodnyak MV. Shchodo pytannya spozhyvannya vody [Regarding the question about water consumption]. *Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference Distance learning in universities and modern problems*. Budapest, Hungary. 2023;10:139–144. Ukrainian.

L. Ya. Fedoniuk, O. B. Furka

Ivan Horbachevsky Ternopil National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine, Ternopil, Ukraine

MORHOLOGICAL CHANGES OF THE NEPHRON AND THE PECULIARITIES OF THE DYNAMICS OF ITS REPAIR PROCESSES UNDER CONDITIONS OF CELLULAR DEHYDRATION

SUMMARY. The aim – to assess the influence of cellular dehydration on the structure of the nephron and the peculiarities of the dynamics of reparative processes during the recovery period during experiment.

Material and Methods. The study was conducted on 70 young white male Vistar rats, which were divided into 2 groups – intact animals and animals adapted to dehydration. The collection of material for light and electron microscopy

Огляди літератури, оригінальні дослідження, погляд на проблему, випадок з практики, короткі повідомлення

of the kidney was carried out according to generally accepted rules. Morphometric and quantitative studies were carried out using a system for visual analysis of histological specimens.

Results. Microscopic and morphometric studies revealed a relationship between the duration of dehydration and the depth of damage to both the components of the filtration barrier and the structures involved in reabsorption processes. The study of the features and peculiarities of the organism's readaptation processes to the action of extreme factors under conditions of adaptation made it possible to establish that the first indicators of disorders of the glomerular-tubular system are the basement membranes in the walls of the microcirculatory vessels, and the membrane formations of the epithelium. As the influence of the dehydrating factor increases, dystrophic and atrophic changes in the nephron structures occur, which causes a disruption of their function. The process of readaptation includes a complex of compensatory changes that ensure adaptation to the conditions. Positive changes in the structural organization of the renal cortex, which occur already in the 3rd week of readaptation after cellular dehydration, and of the nephron tubules in the 6th week, indicate that the readaptation processes in animals adapted to cellular dehydration occur more actively and faster in all structural components of the nephron. After severe cellular dehydration, reparative processes occur more slowly, however, they lead to complete normalization of nephron structures.

Conclusions. The study of the structural organization of the nephron under the influence of cellular dehydration, as well as the study of the influence and the mechanism of adaptation, established that the structural components of the nephron instantly respond to disturbances in the body's water and electrolyte metabolism by changing their structural organization. These changes are significant with severe cellular dehydration, and their recovery takes a long time, however, the impact of an adverse factor has caused the activation of compensatory and adaptive reactions, and the readaptation process occurs faster in an organism adapted to dehydration.

KEY WORDS: kidney; renal corpuscle; nephron tubules; laboratory animals; dehydration; adaptation; readaptation.

Отримано 12.02.2025

Електронна адреса для листування: furkaob@tdmu.edu.ua