

18. — Р. 43-67.
7. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Research or Other Scientific Purposes of 18.03.1986: Verkhovna Rada of Ukraine, official web portal: International Documents Європейська конвенція про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідницьких або інших наукових цілей від 18.03.1986р.: Верховна Рада України, офіційний веб-портал: Міжнародні документи (Рада Європи). Електронний ресурс. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua>
8. Law of Ukraine No. 3447-IV "On the Protection of Animals from Cruelty". Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine. Official. ed. 2006. No. 27. P. 990, p. 230. Закон України № 3447-IV «Про захист тварин від жорстокого поводження». Відомості Верховної Ради України. Офіц. вид. 2006. № 27. С. 990, ст. 230. (Бібліотека офіційних видань).
9. Skrypnyk, S. Rybak, V. Mathematical methods of statistics in biological research. Psychological and pedagogical problems of modern school. 2024. — No. 2 (12). — P. 93–99. Скрипник, С. Рибак, В. Математичні методи статистики в біологічних дослідженнях. Психолого-педагогічні проблеми сучасної школи. 2024. — № 2 (12). — С. 93–99. DOI: [https://doi.org/10.31499/2706-6258.2\(12\).2024.315019](https://doi.org/10.31499/2706-6258.2(12).2024.315019).
- Вперше надійшла до редакції 08.08.2025 р.
Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування

УДК 612.46:612.015.31

DOI <https://zenodo.org/records/18023476>

ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ СТАН НИРОК ПІСЛЯ ВОДНОГО ТА СОЛЬОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ У ЩУРІВ

Вітюков О.С., Гоженко А.І.

Міжнародний гуманітарний університет (м. Одеса)

FUNCTIONAL STATE OF THE KIDNEYS AFTER WATER AND SALT LOAD IN RATS

Vityukov O.S., Gozhenko A.I.

International University (Odessa)

Authors' Information:

Гоженко А.І. (Gozhenko A.I.): <https://orcid.org/0000-0001-7413-4173>

Summary/Резюме

The functional state of the kidneys was studied in rats after acute overheating after rehydration with tap water or 0.45% sodium chloride solution in an amount of 5% of body weight. It was shown that the introduction of water does not cause changes in diuresis, creatinine clearance, reabsorption with 0.4% sodium chloride solution, diuresis and reabsorption decrease against the background of an increase in the glomerular filtration rate with an increase in the filtration charge of sodium without changing its reabsorption, but with a slight increase in excretion. It was concluded that rehydration using 0.45% sodium chloride solution is more effective in restoring the body's water balance compared to drinking water.

Keywords: *overheating, kidneys, sodium, rehydration, glomerular filtration rate, eosin and salt metabolism.*

У щурів після гострого перегрівання вивчений функціональний стан нирок після регідратації водогінною водою або 0,45 % розчином натрію хлориду у кількості 5 % від маси тіла. Показано, що введення води не викликає зміни діурезу кліренсу креатиніну, реабсорбції з 0,4 % розчином хлориду натрію, зменшується діурез реабсорбція на фоні збільшення швидкості клубочкової фільтрації із зростанням фільтраційного заряду натрію без зміни його реабсорбції, але незначним збільшенням екскреції. Зроблено висновок, що регідратація з використанням 0,45 % розчину хлориду натрію є більш ефективною у відновленні водного балансу організму у порівнянні з використанням питної води.

Ключові слова: *перегрівання, нирки, натрій, регідратація, швидкість клубочкової фільтрації, еозин та сольовий обмін.*

Адаптація організму ссавців до підвищеної температури навколишнього середовища є важливою умовою їх існування. Останній історичний період характеризується зміною клімату на нашій планеті, причому основним трендом є підвищення температури навколишнього середовища. Саме тому зростає увага до механізмів адаптації людини та тварин до перегрівання. Відомо, що головною проблемою при цьому є збільшення тепловідведення з організму за рахунок тепло випарювання враховуючи, що в таких умовах зменшуються механізми тепловипромінювання [1, 2, 3, 4, 5].

Така побудова механізмів термоадаптації призводить до змін водно-сольового гомеостазу із втратами води. Необхідно відмітити, що адаптація до зростання температури навколишнього середовища відрізняється в залежності від терміну дії нагрівального мікроклімату [6, 7]. Раніше нами вивчені зміни водно-сольового гомеостазу у щурів після одноразового перегрівання. Ці дослідження показали, що навіть в таких умовах адаптація супроводжується змінами як водного, так і іонного гомеостазу [8, 9, 10, 11]. Вищенаведені дані свідчать про доцільність надходження до організму води та хлориду натрію.

Загально відомо, що головну роль у підтримці водно-сольового гомеостазу відіграють нирки. Це обумовило вивчення функціонального стану нирок після введення щурам після гострого перегрівання водного або сольового навантаження розчином хлориду натрію

Матеріал та методи дослідження. Досліди проведені на 33 щурах самцях. Всі досліди виконували згідно вимогам Директиви 2010/63/EU Європейського парламенту та Ради Європи від 22 вересня 2010 року «Про захист тварин, які використовуються для наукових досліджень» та Наказу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту від 011.03.2012 р.

Гостре перегрівання відтворювали в умовах знаходження тварин у термокамері.

Регідратацію проводили шляхом введення у шлунок металевим зондом водогінної води або 0,45 % розчину хлориду натрію у кількості 5 % від маси тіла. Сечу збирали у спеціальних клітках за 2 години.

В сечі визначали концентрації натрію, калію іонометричним методом та креатиніну фотометрично по реакції з пікриновою кислотою. Тварин декапітували під тіопенталовим наркозом, у плазмі крові визначали концентрацію натрію, калію та креатиніну. Проводили розрахунок швидкості клубочкової фільтрації (ШКФ) по кліренсу ендogenous креатиніну, показники іонорегулюючої функції нирок шляхом визначення фільтрації та реабсорбції натрію [8].

Отримані результати та їх обговорення.

Дані, наведені у таблиці 1 свідчать про те, що після реабсорбції водою суттєвих змін діурезу по відношенню до контролю не відбувається. Тоді як після введення 0,45 % розчину хлориду натрію діурез достеменно знижується як по відношенню до контролю у інтактних щурів, так і після перегрівання регідратованих водою, причому як загальний, так і відносний діурез. Концентрація та екскреція креатиніну не змінюється після водного навантаження, тоді як після сольового різко зростають як концентрація так і концентраційний індекс, тоді як зростає після регідратації розчином хлориду натрію. Вищенаведені дані дозволяють прийти до висновку, що при регідратації щурів після перегрівання змінюється діяльність нирок, причому після введення сольового розчину нирки зменшують діурез, тоді як після водного вони виводять стільки ж води скільки і контрольні, не дивлячись на втрати води при перегріванні, що показано нами раніше.

Але ще більше відмінності виявлені у регідратації після перегрівання у ренальних механізмах регуляції обміну натрію. Дані, наведені у таблиці 2, свідчать про те, що при регідратації водою зростає концентрація натрію і його екскреція, тобто нирки виводять не тільки воду, але втрачають і натрій. Але ще більші зміни відбуваються при регідратації 0,45 % розчином хлориду натрію. В 4 рази зростає концентрація і кліренс і у 2 рази — екскреція натрію і та натрій/калієвий коефіцієнт. Ці зміни обумовлені як зростанням ШКФ, фільтраційного заряду натрію і в меншій мірі його реабсорбції (таблиця 3). Важливо, що зміни ренальних механізмів регуляції балансу калію

Таблиця 1

Діурез і екскреція креатиніну у щурів при гострому перегріванні та регідратації в кількості 5 % від маси тіла ($M \pm m$)

Показники	Діурез, мл/хв·кг	Відносний діурез, %	Концентрація креатиніну в сечі, ммоль/л	Концентраційний індекс креатиніну	Екскреція креатиніну, мкмоль/хв·кг
Контроль з водним навантаженням $n = 15$	$0,369 \pm 0,0411$	$37,231 \pm 5,200$	$492,832 \pm 41,456$	$6,012 \pm 0,410$	$151,711 \pm 12,16$
Перегрівання та регідратація водою $n = 18$	$0,387 \pm 0,0415$	$48,629 \pm 4,126$ $P_1 < 0,1$	$380,34 \pm 87,69$	$5,928 \pm 1,510$	$112,03 \pm 14,924$
Перегрівання та регідратація 0,45 % розчином NaCl $n = 20$	$0,198 \pm 0,027$ $P_1 < 0,002$ $P_2 < 0,001$	$24,367 \pm 3,376$ $P_1 < 0,05$ $P_2 < 0,001$	$1225,60 \pm 197,48$ $P_1 < 0,001$ $P_2 < 0,001$	$20,234 \pm 3,129$ $P_1 < 0,001$ $P_2 < 0,001$	$185,221 \pm 16,63$ $P_1 < 0,05$ $P_2 < 0,001$

Примітка: P_1 — достеменність відмінностей значень порівняно зі значеннями контрольної групи
 P_2 — достеменність порівняно зі значеннями групи, яка регідратована водою

Таблиця 2

Показники екскреції натрію при гострому перегріванні та регідратації в кількості 5 % від маси тіла ($M \pm m$)

Показники	Концентрація натрію в сечі, ммоль/л	Екскреція натрію із сечею, мкмоль/хв·кг	Концентраційний індекс натрію	Натрій/калієвий коефіцієнт сечі	Кліренс натрію, мл/хв·кг
Контроль з водним навантаженням $n = 15$	$8,94 \pm 3,18$	$1,58 \pm 0,418$	$0,0682 \pm 0,0239$	$0,290 \pm 0,044$	$0,0114 \pm 0,00313$
Перегрівання та регідратація водою $n = 18$	$10,562 \pm 3,019$	$3,387 \pm 0,723$ $P_1 < 0,02$	$0,126 \pm 0,0256$	$0,621 \pm 0,145$ $P_1 < 0,05$	$0,036 \pm 0,0063$ $P_1 < 0,002$
Перегрівання та регідратація 0,45 % розчином NaCl $n = 20$	$30,581 \pm 7,239$ $P_1 < 0,02$ $P_2 < 0,02$	$5,241 \pm 0,981$ $P_1 < 0,001$ $P_2 < 0,1$	$0,166 \pm 0,0255$ $P_1 < 0,001$	$1,518 \pm 0,215$ $P_1 < 0,001$ $P_2 < 0,01$	$0,0381 \pm 0,0618$ $P_1 < 0,001$ $P_2 < 0,1$

Примітка: P_1 — достеменність відмінностей значень порівняно зі значеннями контрольної групи
 P_2 — достеменність порівняно зі значеннями групи, яка регідратована водою

Таблиця 3

Деякі показники функції нирок у щурів при гострому перегріванні та регідратації в кількості 5 % від маси тіла ($M \pm m$)

Показники	Кліренс креатиніну, мл/хв·кг	Фільтраційний заряд натрію, мкмоль/хв·кг	Інтенсивність реабсорбції натрію, %	Екскреторна фракція натрію, %	Загальна кількість Na, що реабсорбується, мкмоль/хв·кг
Контроль з водним навантаженням $n = 15$	$1,310 \pm 0,159$	$262,360 \pm 24,31$	$99,450 \pm 0,121$	$0,540 \pm 0,111$	$260,76 \pm 23$
Перегрівання та регідратація водою $n = 18$	$1,57 \pm 0,23$	$253,060 \pm 35,610$	$98,600 \pm 0,183$ $P_1 < 0,05$	$1,305 \pm 0,254$ $P_1 < 0,02$	$251,54 \pm 34,91$
Перегрівання та регідратація 0,45 % розчином NaCl $n = 20$	$2,260 \pm 0,370$ $P_1 < 0,01$	$372,36 \pm 25,140$ $P_1 < 0,01$ $P_2 < 0,01$	$99,11 \pm 0,159$	$1,89 \pm 0,169$	$371,610 \pm 60,153$ $P_1 < 0,1$ $P_2 < 0,1$

Таблиця 4

Показники екскреції калію у щурів при гострому перегріванні та регідратації в кількості 5 % від маси тіла ($M \pm m$)

Показники	Концентрація калію в сечі, ммоль/л	Екскреція калію із сечею, мкмоль/хв·кг	Концентраційний індекс калію	Фільтраційний заряд калію, мкмоль/хв·кг	Кліренс калію, мл/хв·кг
Контроль з водним навантаженням $n = 15$	$22,261 \pm 3,979$	$6,945 \pm 1,30$	$4,930 \pm 0,951$	$9,137 \pm 0,78$	$1,572 \pm 0,329$
Перегрівання та регідратація водою $n = 18$	$19,136 \pm 2,756$	$6,897 \pm 1,075$	$3,514 \pm 0,671$	$9,434 \pm 1,178$	$1,108 \pm 0,183$
Перегрівання та регідратація 0,45 % розчином NaCl $n = 20$	$29,705 \pm 8,55$	$3,953 \pm 0,634$ $P_1 < 0,05$ $P_2 < 0,05$	$3,997 \pm 1,126$	$13,752 \pm 1,600$ $P_1 < 0,02$ $P_2 < 0,05$	$0,712 \pm 0,190$ $P_1 < 0,05$

набагато менші (таблиця 4). Тобто зареєстровані зміни у функції нирок при регідратації обумовлені особливостями і переважно реакцією на введення різної кількості натрію в організм, що змінює реакцію нирок [8].

Таким чином, отримані результати досліджень свідчать про те, що після гострого перегрівання щурів регідратація 0,45 % розчином хлориду натрію є більш ефективною щодо відновлення водного балансу організму [8, 10]. Вважаємо, що це обумовлено як тими втратами води і натрію, котрі виникають внаслідок адаптації до впливу підвищеної температури навколишнього середовища [11]. Швидка регідратація введенням водогінної води викликає зменшення осмольності плазми крові, що блокує секрецію вазопресину, внаслідок чого розвивається водний діурез. Тоді як навантаження сольовим розчином підвищує концентрацію натрію у плазмі крові, натомість і осмольності, що зменшує блокування секреції вазопресину і як наслідок діурезу. Тобто регідратація після перегрівання більш ефективна щодо нормалізації водного балансу, коли використовується розчин з хлоридом натрію.

References/Література

1. JPCC WG1, WG2, W3. Global warming of 1,5. V. Masson-Delmot, P. Thai, H.O. Portner. — JPCC, 2018.
2. Vyshnevskyi V.I. Climate change in Ukraine and its Consequence. — Journal of Landscape Ecology, (2025), Vol. 18/No4. DOI: 10.2478/jlecol-2025-0032. P. 150-174.
3. Melnyk S., Vasiutynska K., Korduba I., Trach R., Butenko D., Chylinski F., Wrzessnski G. Modeling and forecasting of the local climate of Odessa using CNN-LSTM and the statistical analysis of the series. — MDPI, 2025. — Sustainability. Vol. 17. Issue 18. 10.3390/su17188424.
4. Watanabe H., Kadokura Y., Sugi T., Saito K. Influence of sustained mild dehydration on thermoregulatory and function during moderate exercise, European Journal of Applied Physiology. — 2024. — Vol. 124. — pp. 3457-3470.
5. Roca J., Sanroma-Ortiz M., Cemeli T., Tort-Nasarre G., Santamaria A.L., Espart A., Cantos-Puig C., Campoy C. Health intervention for the prevention of dehydration in agricultural workers exposed to the heat stress: a systematic review. Healthcare, 2025. 13 (11): 1132. doi.org/10.3390/healthcare13111232.
6. Luangwilai T., Robson M.R., Siri Wong W. Effect of heat exposure on dehydration and kidney function among sea salt workers in Thailand. Roczniki Państwowego Zakładu Higieny. — 2021. — 72 (4). — pp. 435-442. doi: 10.32394/rpzh.2021.0186.
7. Smallcombe J.W., Topham T.H., Brown H.A., Tiong M., Clark B., Broderick C., Chalmers S., Orchard J., Mavros Y., Periard J.D., Jay O. Thermoregulation and dehydration in children and youth exercising head compared with adults. — Br J Sports Med. — 2025. — Jul.31. — 59 (16). — pp. 1151-1159.
8. Gozhenko A.I. Kidneys and homeostasis. Current problems of transport medicine. — 2023. — No 1-2 (71-72). — P. 13-29 / Гоженко А.І. Нирки і гомеостаз. Актуальні проблеми медицини транспорту. — 2023. — № 1-2 (71-72). — С. 13-29 [
9. Convit L., Orellana L., Periard J.D., Carr A.J., Warmington S., Beaugeois M., Abraham A., Rhiannon M J Snipe R.M.J. Sodium hyperhydration improves performance with no change in thermal and cardiovascular strain in female cyclists exercising in the heat across the menstrual cycle. Int J Sport Nutr Exerc Metab. — 2025. — Jan 23. — 35 (2). — pp. 99-111. doi: 10.1123/ijsnem.2024-0125. Print 2025 Mar 1.
10. Gozhenko Anatoly, Zukov Walery, Gozhenko Olena and Saens Mykhilo. Pathophysiological mechanisms integrated regulation of water-sodium homeostasis: from cellular dysfunction of Na-K-ATPase to dysregulation of systematic volume control: a systematic review. Journal of Education, Health and Sport. 2025. 84: 64716. eISSN 2391-8306. — doi.org/10.12775/JEHS.2025.84.64716.
11. Vityukov O.S., Gozhenko A.I. The effect of acute overheating in rats on water-salt balance. Bulletin of Marine Medicine. — 2025. — No. 3. — P. 199-203. / Вітюков О.С., Гоженко А.І. Вплив гострого перегрівання у щурів на водно-сольовий баланс. Вісник морської медицини. — 2025. — № 3. — С. 199-203.

Вперше надійшла до редакції 13.8.2025 р.
Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування