

УДК 612+59

DOI 10.34014/2227-1848-2020-3-142-149

## МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧЕК КРЫС ПРИ ПОТРЕБЛЕНИИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ С ПОВЫШЕННОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ

С.А. Недовесова, В.И. Лошенко, А.В. Сахаров, Р.И. Айзман

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет»,  
г. Новосибирск, Россия

*Длительное потребление питьевой воды с повышенным содержанием витальных микроэлементов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  вызывает изменение осмо- и ионорегулирующей функций почек. Однако механизм этих изменений не совсем понятен.*

*Цель исследования – оценить влияние воды с повышенным содержанием  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  на морфологию почек крыс.*

*Материалы и методы. Хронические эксперименты выполнены на 5 группах крыс линии Wistar массой 200–250 г ( $n=110$ ) – контрольной и 4 экспериментальных, которые в течение 6 мес. получали питьевую воду с различным содержанием  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ . В контрольной группе питьевая вода соответствовала санитарно-гигиеническим нормам и содержала 20 мг/дм<sup>3</sup>  $Ca^{2+}$  и 7 мг/дм<sup>3</sup>  $Mg^{2+}$ ; в 1-й экспериментальной группе концентрация  $Ca^{2+}$  составляла 60 мг/дм<sup>3</sup>, а в 3-й – магния 35 мг/дм<sup>3</sup>, что соответствовало оптимальной гигиенической норме; концентрация  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  во 2-й и 4-й группах были равны 120 мг/дм<sup>3</sup> и 70 мг/дм<sup>3</sup> соответственно, что отражало верхнюю границу допустимой гигиенической нормы. Концентрации  $Ca^{2+}$  в 3-й и 4-й группах и  $Mg^{2+}$  в 1-й и 2-й группах соответствовали санитарно-гигиеническим нормам. На 182-е сут наблюдения животных всех групп выводили из эксперимента и забирали почки для проведения морфологического анализа. Образцы данного органа фиксировали в 10 % растворе нейтрального формалина ( $C_3H_7OH$ ) в течение 4–7 сут. Изучение общей морфологической картины осуществляли на обзорных препаратах, окрашенных гематоксилином Бейера и эозином.*

*Результаты. Наибольшие изменения в структуре почечного клубочка наблюдались у крыс 2-й и 4-й экспериментальных групп. Обнаружено достоверное увеличение площади почечных телец и уменьшение площади мочевого пространства по сравнению с контрольными образцами. Наличие признаков сладж-феномена эритроцитов в капиллярах клубочка может объясняться потерей отрицательного заряда протеогликанами гликокаликса эритроцитов под влиянием катионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ . В образцах почек крыс 1-й и 3-й групп описанные морфологические признаки были минимальными и достоверно не отличались от контроля.*

*Выводы. В условиях потребления питьевой воды с избыточным содержанием  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  происходит изменение структуры почечного тельца, что может привести к нарушениям осмо- и ионорегулирующей функций почек.*

**Ключевые слова:** почка, морфология, магний, кальций, жесткость, питьевая вода, крыса.

**Введение.** Здоровье человека в значительной степени зависит от качества потребляемой питьевой воды, в частности от содержания в ней необходимых минеральных веществ, которые участвуют практически во всех биологических процессах [1–3]. Баланс биоэлементов обусловлен их важной ролью в процессах жизнедеятельности [4, 5]. Избыточное поступление в организм эссенциальных элементов может вызывать токсические эффекты и провоцировать серьезные заболевания [6, 7]. В публикациях [8] показано неблагоприятное влияние на организм избыточного

потребления ионов  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ . Указанные катионы создают повышенную жесткость воды, которая имеет место во многих источниках водоснабжения на территории Российской Федерации [6].

Болезни почек занимают одно из ведущих мест среди заболеваний внутренних органов, вызываемых несоответствием качества питьевой воды нормам СанПиН [9]. В наших предыдущих исследованиях было показано, что длительное потребление питьевой воды с избыточным содержанием  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  приводит к изменениям осмо- и ионорегулирующей функ-

ций почек как у детей [10], так и в хроническом эксперименте на крысах [11]. Однако механизм этих изменений недостаточно понятен.

**Цель исследования.** Изучить морфологические особенности почек крыс в условиях длительного потребления питьевой воды с повышенными концентрациями  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ .

**Материалы и методы.** Экспериментальная часть работы выполнена на крысах, выращенных в ЦКП «Виварий конвенциональных животных» ФИЦ Института цитологии и генетики СО РАН, содержащихся на стандартном рационе со свободным доступом к питьевой воде.

Эксперименты проведены на белых половозрелых самцах крыс линии Wistar ( $n=110$ ) с начальной массой тела 200–250 г. За неделю до начала эксперимента крыс акклиматизировали к стандартным условиям лабораторного вивария: температура 20–22 °С, световой режим 12:12 ч (включение света в 8:00, выключение – в 20:00). На протяжении всего срока адаптации, а также в период проведения экспериментов (6 мес.) животных содержали группами по 5 особей в общих клетках [12].

Все животные были разделены на 5 групп. Крысы контрольной группы содержались в стандартных условиях со свободным доступом к сухому корму и воде с концентрацией  $\text{Ca}^{2+}$  20 мг/дм<sup>3</sup> и  $\text{Mg}^{2+}$  7 мг/дм<sup>3</sup> ( $n=22$ ); крысы 1-й экспериментальной группы (ЭГ) –  $\text{Ca}^{2+}$  – 60 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{Mg}^{2+}$  – 7 мг/дм<sup>3</sup> ( $n=20$ ); крысы 2-й ЭГ –  $\text{Ca}^{2+}$  – 120 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{Mg}^{2+}$  – 7 мг/дм<sup>3</sup> ( $n=24$ ); крысы 3-й ЭГ –  $\text{Mg}^{2+}$  – 35 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{Ca}^{2+}$  – 20 мг/дм<sup>3</sup> ( $n=20$ ); крысы 4-й ЭГ –  $\text{Mg}^{2+}$  – 70 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{Ca}^{2+}$  – 20 мг/дм<sup>3</sup> ( $n=24$ ).

Таким образом, в условиях хронического эксперимента концентрации кальция в воде крыс 1-й ЭГ и магния в воде крыс 3-й ЭГ соответствовали оптимальной гигиенической норме. Уровень указанных катионов в воде крыс 2-й и 4-й ЭГ был равен верхней границе допустимой гигиенической нормы (СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества (с изменениями от 28.06.2010)).

Для морфологического изучения почек у крыс всех групп в конце эксперимента извлекали данный орган и фиксировали в 10 % рас-

творе нейтрального формалина ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ) в течение 4–7 сут. Исследуемые образцы заливали в гистомикс, вырезали блоки и укрепляли их на пластиковых держателях. Серийные срезы толщиной 5–7 мкм изготавливали на ротационном полуавтоматическом микротоме SLEE CUT 5062 (Германия), монтировали на предметные стекла смесью белка и глицерина в пропорции 1:1. Изучение общей морфологической картины осуществляли на обзорных препаратах, окрашенных гематоксилином Беймера и эозином [13, 14]. Гистологические препараты почек контрольной и всех опытных групп изучали в проходящем свете с помощью микроскопа Axio Imager.M2 с программным обеспечением для анализа изображений AxioVision Z2 M2 (CARL ZEISS, Германия). Съемку изображений осуществляли CCD-камерой AxioCam HR с программным обеспечением Zen Lite (CARL ZEISS, Германия). На всех снимках отображена масштабная линейка.

**Результаты и обсуждение.** Результаты морфометрического анализа почек крыс позволили выявить следующие особенности. В исследуемых образцах почек крыс 2-й ЭГ площадь почечных клубочков была увеличена по сравнению с контролем практически в 2 раза, а площадь сосудистого клубочка – в 2,5 раза, тогда как в 1-й ЭГ эти изменения были выражены в меньшей степени (табл. 1).

Несмотря на то что площадь мочевого пространства в образцах почек крыс 1-й ЭГ превышала данный показатель в контроле на 800 мкм<sup>2</sup>, на светооптическом уровне это не согласуется с морфологической картиной увеличения его просвета (рис. 1 А). Поэтому становится совершенно очевидным факт, что при интерпретации структурно-функциональных изменений изучаемого объекта статистические данные морфометрического анализа и результаты светооптического наблюдения должны рассматриваться в единой связи. На обзорных препаратах почки крыс 1-й ЭГ заметно, что капилляры почечного клубочка и мезангия практически полностью заполняют собой пространство, ограниченное париетальным и висцеральным листками капсулы клубочка. Капилляры клубочка чрезмерно расширены и заполнены кровью. Обращает на себя внимание многоклеточность мезангиальных

клеток. Клетки эндотелия выглядят набухшими. Эритроциты имеют признаки сладж-феномена, что указывает на потерю или снижение заряда мембраны данных клеток (рис. 1 А). Как известно, надмембранный комплекс, или гликокаликс, представлен отрицательно заряженными молекулами гликозаминогликанов, ко-

торые препятствуют агрегации эритроцитов в норме. Набухание эндотелия, равно как и повышенная пролиферация мезангиальных клеток, является стереотипной неспецифической реакцией клеток на повреждение. Потеря заряда мембраны эритроцитов может быть обусловлена действием катионов  $Ca^{2+}$ .

Таблица 1

Table 1

### Морфометрические параметры структурных элементов почечного тельца

#### Morphometric parameters of the renal corpuscle structure elements

Структура почечного тельца Renal corpuscle structure	Контрольная группа ( $Ca^{2+} - 20$ мг/дм <sup>3</sup> ; $Mg^{2+} - 7$ мг/дм <sup>3</sup> ) Control group ( $Ca^{2+}=20$ mg/dm <sup>3</sup> ; $Mg^{2+}=7$ mg/dm <sup>3</sup> )	1-я ЭГ ( $Ca^{2+} - 60$ мг/дм <sup>3</sup> ) Experimental Group 1 ( $Ca^{2+}=60$ mg/dm <sup>3</sup> )	2-я ЭГ ( $Ca^{2+} - 120$ мг/дм <sup>3</sup> ) Experimental Group 2 ( $Ca^{2+}=120$ mg/dm <sup>3</sup> )	3-я ЭГ ( $Mg^{2+} - 35$ мг/дм <sup>3</sup> ) Experimental Group 3 ( $Mg^{2+}=35$ mg/dm <sup>3</sup> )	4-я ЭГ ( $Mg^{2+} - 70$ мг/дм <sup>3</sup> ) Experimental Group 4 ( $Mg^{2+}=70$ mg/dm <sup>3</sup> )
Площадь почечного тельца, мкм <sup>2</sup> Renal corpuscle area, mkm <sup>2</sup>	6536,5±544,5	13953,8±887,9*	17253,7±1038,6*	7654,5±642,2	15396,2±1107,3*
Площадь сосудистого клубочка, мкм <sup>2</sup> Vascular glomerulus area, mkm <sup>2</sup>	4688,7±316,3	11303,2±691,4*	12194,3±732,2*	5282,7±373,5	10896,6±826,5*
Площадь мочевого пространства, мкм <sup>2</sup> Urinary space area, mkm <sup>2</sup>	1847,8±228,2	2650,6±196,5*	5059,4±306,5*	1771,8±268,8	4499,6±180,9*

**Примечание.** \* –  $p < 0,05$  по отношению к контрольной группе.

**Notes.** \* – the differences are significant in contrast to control group ( $p < 0.05$ ).

При анализе гистологических срезов почек крыс 2-й ЭГ обнаружено достоверное увеличение параметров всех структурных компонентов почечного тельца более чем в 2,5 раза по сравнению с контролем. В совокупности с депозитами белка в мочевом пространстве почечных клубочков и пролиферацией клеток париетального листка капсулы Шумлянско-Боумена эти изменения являются признаками

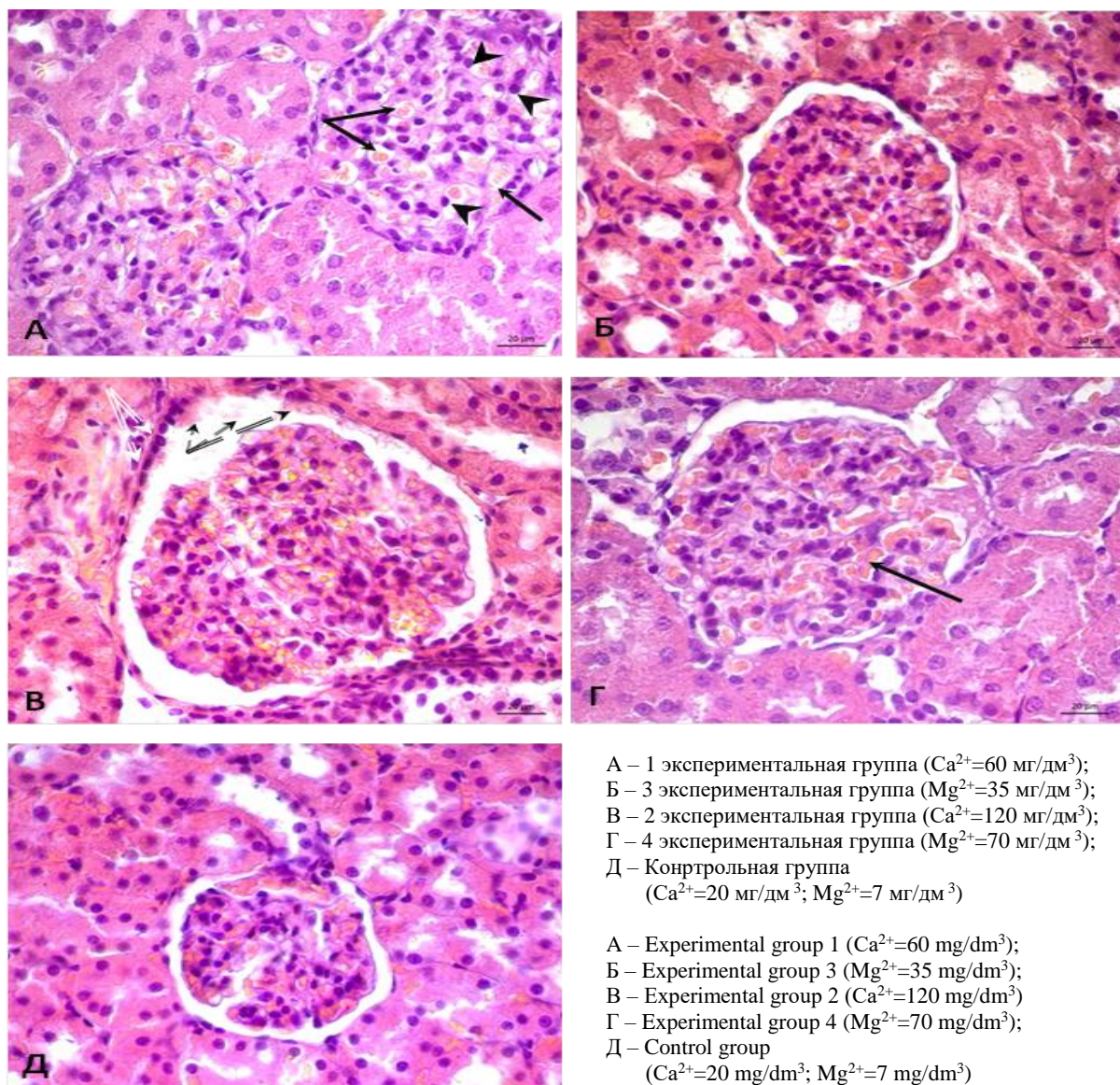
глубоких нарушений базальной гломерулярной мембраны в образцах почек (рис. 1 В). Клинически данный вариант соответствует нарушению фильтрационного процесса в нефроне.

В группе крыс, потреблявших питьевую воду с содержанием  $Mg^{2+}$  35 мг/дм<sup>3</sup> (3-я ЭГ), все исследуемые параметры почечных телец достоверно не отличались от контроля. На обзорных препаратах, окрашенных гематокси-

лином и эозином, состояние капилляров почечного клубочка, мезангиума, а также клеток висцерального и париетального листков капсулы Шумлянско–Боумена не имели выраженных морфологических различий от контрольных образцов (рис. 1 Б).

У крыс 4-й ЭГ обнаружено увеличение исследуемых параметров почечного клубочка по сравнению с контролем более чем в 2 раза

(табл. 1). В совокупности с чрезмерным расширением капилляров клубочка и признаками сладж-феномена эритроцитов эти признаки указывают на изменение ионного заряда данных клеток крови, что может привести к нарушению осмо- и ионорегулирующей функций почек. Данные структурно-функциональные характеристики отчетливо демонстрируются на рис. 1 Г.



**Рис. 1.** Структурная организация капиллярного клубочка почки крыс.

**Примечание.** Темной стрелкой обозначен сладж-феномен эритроцитов; головка стрелки – набухшие эндотелиальные клетки; темная пунктирная стрелка – белок в мочевом пространстве; светлая пунктирная стрелка – клетки париетального листка капсулы Шумлянско–Боумена

**Fig. 1.** Structural organization of the kidney capillary glomerulus in rats.

**Note.** The dark arrow indicates red cell adherence; the head of the arrow indicates swollen endothelial cells; the dark dotted arrow shows protein in the urinary space; the light dotted arrow shows parietal layer cells of Bowman's capsule

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют о том, что потребление питьевой воды с повышенными концентрациями  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  вызывает морфологические изменения в клубочках нефронов. Они проявляются в набухании мезангиальных клеток, расширении капиллярного клубочка и появлении признаков сладж-феномена эритроцитов, что

может быть связано с прямым действием катионов на структурные компоненты рецепторно-барьерно-транспортной системы клеток почечного тельца и компоненты межклеточного вещества мезангиального матрикса. Можно полагать, что обнаруженные морфологические изменения оказывают влияние на осмо- и ионорегулирующую функции почек.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Литература

1. *Ахполова В.О., Брин В.Б.* Обмен кальция и его гормональная регуляция. Журнал фундаментальной медицины и биологии. 2017; 2: 38–46.
2. *Halperin M.L., Cheema Dhadli S., Kamel K.S.* Physiology of acid-base balance: links with kidney stone prevention. *Semin Nephrol.* 2006; 26 (6): 441–446.
3. *Скальный А.В., Рудаков И.А.* Биоэлементы в медицине. Москва: Оникс. 21 век. Мир; 2004. 272.
4. *Безруков Е.А., Саенко В.С., Кантимеров Ф.Х., Кантимеров Д.Ф., Аляев Ю.Г.* Влияние жесткости питьевой воды на возникновение мочекаменной болезни и химический состав камней у жителей городов Кумертау и Мелеуз Республики Башкортостан. *Медицинский вестник Башкортостана.* 2015; 3 (57): 83–87.
5. *Селятицкая В.Г., Пальчикова Н.А., Закас Н.П.* Содержание микроэлементов в тканях печени и легкого крыс с аллоксановым диабетом. *Фундаментальные исследования.* 2012; 4 (1): 201–205.
6. *Иванов А.В., Тафеева Е.А., Давлетова Н.Х., Вавашкин К.В.* Современные представления о влиянии качества питьевой воды на состояние здоровья населения. *Вода: химия и экология.* 2012; 3: 48–53.
7. *Islam A.R.M.T., Shen S., Bodrud-Doza M., Rahman M.A., Das S.* Assessment of trace elements of groundwater and their spatial distribution in Rangpur district, Bangladesh. *Arab. J. Geosci.* 2017; 10 (4): 95. URL: <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2886-3> (дата обращения: 30.05.2020).
8. *Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Май И.В., Андреева Е.Е.* Кластерная систематизация параметров санитарно-эпидемиологического благополучия населения регионов Российской Федерации и городов федерального значения. *Профилактическая медицина: актуальные аспекты анализа риска здоровья.* 2016; 1 (13): 4–14.
9. *Джиоев И.Г., Фидарова А.М.* Некоторые особенности функции и морфологии почек крыс в условиях различных моделей экспериментальной почечной недостаточности. *Вестник новых медицинских технологий.* 2008; 15 (1): 38–39.
10. *Недовесова С.А., Головин М.С., Иашивили М.В., Толстых Е.А., Турбинский В.В., Трофимович Е.М., Айзман Р.И.* Физическое развитие и функция почек подростков, потребляющих питьевую воду с повышенным содержанием витальных катионов. *Здоровье населения и среда обитания.* 2017; 10 (295): 31–34.
11. *Недовесова С.А., Трофимович Е.М., Турбинский В.В., Айзман Р.И.* Сравнительный анализ функции почек и гормональной активности у крыс при потреблении питьевой воды с повышенной концентрацией кальция и магния. *Современные проблемы науки и образования.* 2017; 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27335> (дата обращения: 30.05.2020). DOI: 10.17513/spno.27335.
12. *Лоскутова З.Ф.* Виварий. Москва: Медицина; 1980. 94.
13. *Семченко В.В., Барашкова С.А., Артемьев В.Н.* Гистологическая техника: учебное пособие. Омск: Омская медицинская академия; 2006. 152.
14. *Хонин Г.А., Барашкова С.А., Семченко В.В.* Морфологические методы исследования в ветеринарной медицине: учебное пособие. Омск: Омская областная типография; 2004. 198.

Поступила в редакцию 26.06.2020; принята 18.07.2020.

**Авторский коллектив**

**Недовесова Светлана Анатольевна** – старший преподаватель кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет». 630126, Россия, г. Новосибирск, ул. Вилуйская, 28; e-mail: nedovesovasweta@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2402-1792>.

**Лошенко Виталина Игоревна** – кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и экологии, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет». 630126, Россия, г. Новосибирск, ул. Вилуйская, 28; e-mail: vitalina\_loshenk@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7137-2424>.

**Сахаров Андрей Валентинович** – доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биологии и экологии, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет». 630126, Россия, г. Новосибирск, ул. Вилуйская, 28; e-mail: asakharov142@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5076-2113>.

**Айзман Роман Иделевич** – доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет». 630126, Россия, г. Новосибирск, ул. Вилуйская, 28; e-mail: aizman.roman@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7776-4768>.

**Образец цитирования**

Недовесова С.А., Лошенко В.И., Сахаров А.В., Айзман Р.И. Морфофункциональная характеристика почек крыс при потреблении питьевой воды с повышенной жесткостью. Ульяновский медико-биологический журнал. 2020; 3: 142–149. DOI: 10.34014/2227-1848-2020-3-142-149.

## MORPHOFUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF KIDNEYS IN RATS DRINKING LIMEWATER

S.A. Nedovesova, V.I. Loshenko, A.V. Sakharov, R.I. Ayzman

Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

*Long-term consumption of drinking water with an increased concentration of vital trace elements  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  causes changes in osmo- and ion-regulating kidney functions. However, the mechanism of such changes is not entirely clear.*

*The aim of the study was to evaluate the effect of water with an increased  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  concentration on kidney morphology in rats.*

*Materials and Methods. Long-term experiments were carried out on 5 control groups of Wistar rats weighing 200–250 gr ( $n=110$ ) and 4 experimental groups, which had been drinking water with different  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  concentration for 6 months. In control groups, drinking water corresponded to sanitation and hygiene standards and contained 20 mg/dm<sup>3</sup> of  $Ca^{2+}$  and 7 mg/dm<sup>3</sup> of  $Mg^{2+}$ ; in experimental group 1,  $Ca^{2+}$  concentration was 60 mg/dm<sup>3</sup>, and in experimental group 3  $Mg^{2+}$  concentration was 35 mg/dm<sup>3</sup>, which corresponded to the hygienic standard;  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  concentration in groups 2 and 4 were equal to 120 mg/dm<sup>3</sup> and 70 mg/dm<sup>3</sup>, respectively, which corresponded to the upper limit of the hygienic standard.  $Ca^{2+}$  concentration in groups 3 and 4 and  $Mg^{2+}$  concentration in groups 1 and 2 corresponded to sanitation and hygiene standards. On the 182<sup>nd</sup> day of observation, animals of all groups were removed from the experiment and their kidneys were taken for morphological analysis. Kidney samples were fixed in a 10% solution of neutral formalin ( $C_3H_7OH$ ) for 4–7 days. The general morphological picture was studied on hematoxylin and eosin-stained survey samples.*

*Results. The greatest changes in the renal glomerulus structure were observed in experimental groups 2 and 4. The authors observed a significant increase in the renal corpuscle area and a decrease in the urinary space area in comparison with the control. Red cell adherence in the glomerular capillaries could be explained by the loss of negative charge by proteoglycans of the red cells glycocalyx under the influence of  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  cations. In group 1 and group 2 kidney samples, the described morphological signs were minimal and did not differ significantly from the control.*

*Conclusion. Consumption of drinking water with a high concentration of  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  leads to structural changes in the renal corpuscle and can cause impairments in the osmo- and ion-regulating kidney functions.*

**Keywords:** kidney, morphology, magnesium, calcium, hardness, drinking water, rat.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Akhpolova V.O., Brin V.B. Obmen kal'tsiya i ego gormonal'naya regulyatsiya [Calcium metabolism and its hormonal regulation]. *Zhurnal fundamental'noy meditsiny i biologii*. 2017; 2: 38–46 (in Russian).
2. Halperin M.L., Cheema Dhadli S., Kamel K.S. Physiology of acid-base balance: links with kidney stone prevention. *Semin Nephrol*. 2006; 26 (6): 441–446.
3. Skal'nyy A.V., Rudakov I.A. *Bioelementy v meditsine* [Bioelements in medicine]. Moscow: Oniks. 21 vek. Mir; 2004. 272 (in Russian).
4. Bezrukov E.A., Saenko V.S., Kantimerov F.Kh., Kantimerov D.F., Alyaev Yu.G. Vliyanie zhestkosti pit'evoy vody na vozniknovenie mochekamennoy bolezni i khimicheskiy sostav kamney u zhiteley gorodov Kumertau i Meleuz Respubliki Bashkortostan [Stiffening of drinking water hardness on incidence of urolithiasis of Kumertau and Meleuz citizens of the Republic of Bashkortostan]. *Medsinskiiy vestnik Bashkortostana*. 2015; 3 (57): 83–87 (in Russian).
5. Selyatitskaya V.G., Pal'chikova N.A., Zaksas N.P. Soderzhanie mikroelementov v tkanyakh pecheni i legkogo krysa s alloksanovym diabetom [Trace elements in the liver and lung tissues of rats with alloxan diabetes]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2012; 4 (1): 201–205 (in Russian).
6. Ivanov A.V., Tafееva E.A., Davletova N.Kh., Vavashkin K.V. Sovremennyye predstavleniya o vliyaniy kachestva pit'evoy vody na sostoyanie zdorov'ya naseleniya [Modern outlook on the impact of drinking water quality on population health]. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2012; 3: 48–53 (in Russian).
7. Islam A.R.M.T., Shen S., Bodrud-Doza M., Rahman M.A., Das S. Assessment of trace elements of groundwater and their spatial distribution in Rangpur district, Bangladesh. *Arab. J. Geosci*. 2017; 10 (4): 95. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2886-3> (accessed: 30.05.2020).
8. Onishchenko G.G., Zaytseva N.V., May I.V., Andreeva E.E. Klasternaya sistematizatsiya parametrov sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya regionov Rossiyskoy Federatsii i gorodov federal'nogo znacheniya [Cluster systematization of the parameters of sanitary and epidemiological welfare of the population in the regions of the Russian Federation and the federal cities]. *Profilakticheskaya meditsina: aktual'nye aspekty analiza riska zdorov'yu*. 2016; 1 (13): 4–14 (in Russian).
9. Dzhioev I.G., Fidarova A.M. Nekotorye osobennosti funktsii i morfologii pochek krysa v usloviyakh razlichnykh modeley eksperimental'noy pochechnoy nedostatochnosti [Function and morphology of rat kidneys under various models of experimental renal failure]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2008; 15 (1): 38–39 (in Russian).
10. Nedovesova S.A., Golovin M.S., Iashvili M.V., Tolstykh E.A., Turbinskiy V.V., Trofimovich E.M., Ayzman R.I. Fizicheskoe razvitiye i funktsiya pochek podrostkov, potrebyayushchikh pit'evuyu vodu s povyshennym soderzhaniey vital'nykh kationov [Physical development and kidney function in adolescents consuming drinking water with an increased concentration of vital cations]. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2017; 10 (295): 31–34 (in Russian).
11. Nedovesova S.A., Trofimovich E.M., Turbinskiy V.V., Ayzman R.I. Sravnitel'nyy analiz funktsii pochek i gormonal'noy aktivnosti u krysa pri potrebenii pit'evoy vody s povyshennoy kontsentratsiey kal'tsiya i magniya [Comparative analysis of renal function and hormonal activity in rats consuming drinking water with an increased calcium and magnesium concentration]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2017; 6. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27335> (accessed: 30.05.2020). DOI: 10.17513/spno.27335 (in Russian).
12. Loskutova Z.F. *Vivariy* [Vivarium]. Moscow: Meditsina; 1980. 94 (in Russian).
13. Semchenko V.V., Barashkova S.A., Artem'ev V.N. *Gistologicheskaya tekhnika: uchebnoye posobie* [Histological technique: Manual]. Omsk: Omskaya meditsinskaya akademiya; 2006. 152 (in Russian).
14. Khonin G.A., Barashkova S.A., Semchenko V.V. *Morfologicheskie metody issledovaniya v veterinarnoy meditsine: uchebnoye posobie* [Morphological research methods in veterinary medicine: Textbook]. Omsk: Omskaya oblastnaya tipografiya; 2004. 198 (in Russian).

Received 26 June 2020; accepted 18 July 2020.

**Information about the authors**

**Nedovesova Svetlana Anatol'evna**, Senior Lecturer, Chair of Anatomy, Physiology, Health and Safety, Novosibirsk State Pedagogical University. 630126, Russia, Novosibirsk, Vilyuyskaya Street, 28; e-mail: nedovesovasweta@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2402-1792>.

**Loshenko Vitalina Igorevna**, Candidate Sciences (Biology), Associate Professor, Chair of Biology and Ecology, Novosibirsk State Pedagogical University. 630126, Russia, Novosibirsk, Vilyuyskaya Street, 28; e-mail: vitalina\_loshenk@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7137-2424>.

**Sakharov Andrey Valentinovich**, Doctor of Sciences (Biology), Associate Professor, Head of the Chair of Biology and Ecology, Novosibirsk State Pedagogical University. 630126, Russia, Novosibirsk, Vilyuyskaya Street, 28; e-mail: asakharov142@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5076-2113>.

**Ayzman Roman Idelevich**, Doctor of Sciences (Biology), Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Chair of Anatomy, Physiology, Health and Safety, Novosibirsk State Pedagogical University. 630126, Russia, Novosibirsk, Vilyuyskaya Street, 28; e-mail: aizman.roman@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7776-4768>.

**For citation**

Nedovesova S.A., Loshenko V.I., Sakharov A.V., Ayzman R.I. Morfofunktsional'naya kharakteristika pochek krys pri potreblenii pit'evoy vody s povyshennoy zhestkost'yu [Morphofunctional characteristics of kidneys in rats drinking limewater]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*. 2020; 3: 142–149. DOI: 10.34014/2227-1848-2020-3-142-149 (in Russian).