

А. М. Рахметова<sup>1</sup>, Н. П. Бгагова<sup>2</sup>, Ш. М. Жумадина<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, Павлодар, Казахстан

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной лимфологии – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук», Новосибирск, Россия,

<sup>3</sup> Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан  
(E-mail: <sup>1</sup> asel-rakhmetova@mail.ru, <sup>2</sup> n\_bgatova@ngs.ru, <sup>3</sup> ms.zhumadina@mail.ru)

### Структурная организация почки в условиях отдаленного опухолевого роста

**Аннотация:** В эксперименте на мышах линии СВА изучали структурную организацию почки при развитии перевиваемой в область бедра экспериментальной гепатокарциномы – 29. Методами световой и электронной микроскопии оценивали ультраструктуру нефрона. Через 30 суток эксперимента у животных с опухолевым ростом в структуре почки выявляли уменьшение размеров просвета капсулы почечного тельца, снижение объемной плотности капиллярных клубочков, увеличение размеров интерстициальных пространств почечного тельца. Отмечали набухание цитоплазмы подоцитов, уменьшение количества и толщины цитоподий, снижение количества фенестр в эндотелиоцитах клубочковых капилляров, набухание эпителиоцитов проксимального и дистального отдела почки. Отмеченные изменения свидетельствуют об изменении барьерных свойств почечного фильтра в условиях отдаленного опухолевого роста.

**Ключевые слова:** почка, гепатокарцинома-29, структура нефрона.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2019-128-3-66-73>

**Актуальность темы.** Почка является органом выделения, однако она выполняет еще множество функций. Через сосуды почек протекает четверть ежеминутного объема крови, которое сердце выбрасывает в аорту. Почки являются органом преобразования белков, липидов и углеводов. В условиях голодания в почках образуется до половины глюкозы из органических кислот, которая поступает в кровь [1].

Почки человека являются биологическими фильтрами организма, благодаря которым очищается проходящая через них кровь и выводятся ненужные организму вещества. Почки играют важную гомеостатическую роль в организме [2]. Они участвуют в регуляции объема крови и внеклеточной жидкости, концентрации осмотически активных веществ в крови и других жидкостях тела, ионного состава сыворотки крови и ионного баланса организма, кислотно-основного состояния, артериального давления, эритропоза, свертывания крови, модуляции действия гормонов благодаря образованию и выделению в кровь биологически активных веществ, в обмене белков, липидов и углеводов, выделении из организма конечных продуктов азотистого обмена и чужеродных веществ, избытка органических веществ (глюкоза, аминокислоты и др.), поступивших с пищей или образовавшихся в процессе метаболизма.

В последние годы рак почки занимает одно из ведущих мест по темпам прироста среди онкоурологических заболеваний и составляет 3 % от всех злокачественных новообразований [3].

В связи с тем, что почка является гомеостатическим органом, участвующим в поддержании постоянства основных физико-химических констант жидкостей внутренней среды, в циркуляторном гомеостазе, стабилизации показателей обмена различных органических веществ, то нарушение функции почек будут неблагоприятно сказываться на функциональной активности всех органов и систем. Особенно это касается онкологических заболеваний, которые характеризуются тяжелым течением.

**Цель исследования:** Выявить структурные изменения в почках в условиях отдаленного опухолевого роста.

**Материалы и методы.** Экспериментальное исследование проведено на мышах-самцах линии СВА массой 18-20 г в возрасте 3-х месяцев. Животных содержали на стандартной

диете со свободным доступом к воде и пище. Работу с животными проводили в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных».

В эксперименте были сформированы 2 группы животных ( $n=20$ ). В 1 группу вошли интактные мыши; во 2 группу – животные с развитием опухолевого процесса. Для индукции опухолевого роста использовали клетки гепатокарциномы-29 (Г-29). Г-29 получена и верифицирована сотрудниками Института цитологии и генетики СО РАН. Клетки Г-29 перевивали мышам линии СВА в брюшную полость, через 10 суток производили забор асцитической жидкости, суспендировали в физиологическом растворе и вводили по  $2 \times 10^6$  клеток в 100 мкл интактным животным в мышцу правого бедра. Забор материала для исследований проводили через 30 суток эксперимента. Животных выводили из эксперимента под эфирным наркозом методом кранио-цервикальной дислокации.

Для исследования в электронном микроскопе образцы почек фиксировали в 4 % растворе параформальдегида, приготовленном на среде Хенкса, дофиксировали в 1 % растворе  $\text{OsO}_4$  на фосфатном буфере ( $\text{pH}=7,4$ ), дегидратировали в этиловом спирте возрастающей концентрации и заключали в эпон. Полутонкие срезы толщиной 1 мкм окрашивали толудиновым синим и изучали под световым микроскопом "LEICA DME". Ультратонкие срезы толщиной 70-100 нм контрастировали насыщенным водным раствором уранилацетата и цитратом свинца и изучали в электронном микроскопе JEM 1010. При увеличении  $\times 12000$  получали электронограммы фрагментов почечных телец, эпителиоцитов проксимального и дистального отделов. Полученные микрофотографии морфометрировали с помощью компьютерной программы Image J. Определяли объемные плотности просветов капсулы, капиллярных клубочков, интерстициальных пространств почечного тельца, диаметры эпителиоцитов проксимального и дистального отделов нефрона, размеры базальных мембран клубочковых капилляров и эпителиоцитов проксимального и дистального отдела нефрона. Статистическую обработку полученных результатов производили с использованием пакета программ STATISTICA v. 6 (StatSoft Inc., США). Значимость различий оценивали, используя U-критерий Манна-Уитни, при уровне достоверности 95% ( $p < 0,05$ ).

**Результаты исследования.** Результаты исследования показали, что через 30 суток эксперимента у животных с опухолевым ростом в структуре почки отмечали уменьшение размеров просвета капсулы (рис.1) почечного тельца на 19 %. Объемная плотность капиллярных клубочков снизилась на 10 %. Размеры интерстициальных пространств почечного тельца были увеличены на 15 % (табл. 1).

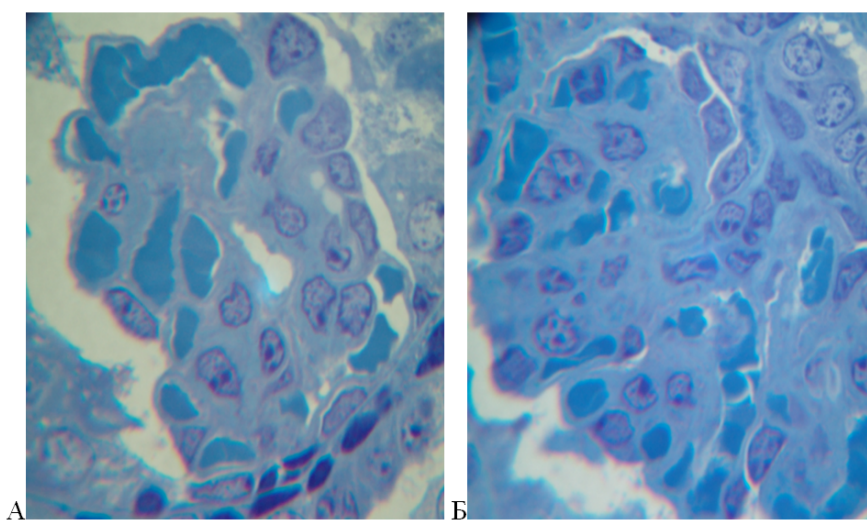


Рисунок 1 – Структура почечного тельца мышей линии СВА контрольной группы (А) и через 30 суток опухолевого роста. Возрастание просвета капсулы клубочка в условиях отдаленного опухолевого роста (Б). Окраска толудиновым синим. Увеличение  $\times 400$ .

Таблица 1 – Объемная плотность структур почечного тельца у мышей

Параметр, Vv, %	Группы (M ± SD)	
	Контроль	30 суток опухолевого роста
Просвет капсулы	15,54±3,99	12,55±3,96*
Клубочковые капилляры	45,13±6,79	40,52±11,94*
Межклеточное пространство	20,56±10,79	23,56±6,13

*Примечание:* Vv – объемная плотность, %:

\* - по отношению к группе контроля.

Из литературных данных известно, что функция почек заключается в фильтрации крови и концентрации метаболитических отходов в моче и имеет функционально сложную структуру. Нормальная функция почечных клубочков сохраняет циркулирующие клетки и ценные макромолекулярные компоненты плазмы в крови, в результате чего в моче остаются лишь следовые количества белков. Эндотелиальные клетки клубочковых капилляров, подоциты, обернутые вокруг них, в слитый внеклеточный матрикс, которые образуют эти клетки. Они в целом, содержат гломерулярный фильтрующий барьер, динамический и высокоселективный фильтр, который просеивается на основе молекулярного размера и электрического заряда. Современное понимание структурной организации и клеточной и молекулярной основы почечной фильтрации основано на исследованиях клубочковых заболеваний человека и животных моделях клубочковой дисфункции [4]. Изменения в клубочковой фильтрации могут значительно повлиять на динамику и функции капсулы Боумена [5].

Клубочек, фильтрующая единица почек, является уникальным пучком капилляров, выстланных деликатным фенестрированным эндотелием, сложной сеткой белков, которые служат в качестве клубочковых базальной мембраны и специализированных висцеральных эпителиальных клеток, которые образуют щели между диафрагмами переплетения процессов ножными. Фильтрационный барьер состоит из эндотелия капилляров, базальной мембраны и фильтрационных щелей между ножками подоцитов. Это расположение позволяет осуществлять непрерывную фильтрацию объема плазмы [6].

Клубочек имеет 3 резидентных клетки, а именно, мезангиальные клетки, которые производят матрицу мезангиальной, эндотелиальные клетки, которые выстилают клубочек капилляров и подоциты, которые покрывают наружную поверхность клубочковой базальной мембраны. Parietalные эпителиальные клетки (PrECs), которые выстилают капсулу Боумена, не являются частью клубочкового пучка, но могут играть важную роль в нормальной функции клубочка [7].

Функциональной единицей почки является нефрон, которых в здоровых почках насчитывается до 1 миллиона и который имеет довольно сложное строение. В состав нефрона входят почечный клубочек, проксимальный каналец, тонкая часть петли Генле (тонкое нисходящее и тонкое восходящее колена), толстое восходящее колена петли Генле, дистальный каналец и собирательная трубка. Почечный клубочек окружен Боуменовой капсулой, сформированной плотной базальной мембраной и выстланной плоским однослойным (париетальным) эпителием. Внутри Боуменовой капсулы находится клубочек кровеносных капилляров.

Стенки капилляров выстланы фенестрированным эндотелием с диаметром фенестр более 100 нм. Снаружи эндотелий капилляров окружен тонкой базальной мембраной и прилегающими друг к другу отростками подоцитов. Между отростками подоцитов имеются щелевые диафрагмы размером 50–60 нм, закрытые тонкой пленкой. В перикапиллярном пространстве Боуменовой капсулы локализованы также электронно-плотные мезангиальные клетки. Клетки проксимального почечного каналаца характеризуются прежде всего присутствием массы микроворсинок (щеточной каймы) на их апикальной поверхности и мембранными складками на базальной поверхности. Эти структуры обеспечивают увеличение площади клеточной поверхности, необходимой для локализации огромного количества мембранных транспортных белков. Апикальная область цитоплазмы содержит вакуоли различного размера. Базальные складки ассоциированы с многочисленными митохондриями [8].

Наблюдали набухание цитоплазмы подоцитов. Количество цитоподий имело тенденцию к снижению, а толщина цитоподий возрастала (табл. 2, рис. 2).

Подоциты – это узкоспециализированные клетки клубочка почки, которые охватывают капилляры и соседние клетки капсулы Боумена. В процессе фильтрации подоциты играют активную роль в предотвращении проникновения белков плазмы в ультрафильтрат мочи, обеспечивая барьер, включающий фильтрационные щели между цитоподиями, которые в совокупности представляют собой динамическую сеть клеточных расширений. Цитоподии соседних подоцитов переплетаются и образуют сеть из узких и довольно равномерных щелей. Фенестрированные эндотелиальные клетки удерживают клетки крови, но позволяют проходить небольшим растворенным веществам находящимся у базальной мембраны, менее проницаемой для макромолекул, в частности для альбумина. Динамика цитоскелета и структурная пластичность подоцитов, а также передача сигналов между каждым из этих отдельных слоев имеют важное значение для эффективной клубочковой фильтрации и, следовательно, для нормальной функции почек [9].

Повреждение подоцитов является важным шагом в развитии большого количества гломерулярных заболеваний. Клубочковые подоциты – это уникальные клетки со сложными отростками, которые покрывают наружный слой клубочковой базальной мембраны, и являются основными клетками, составляющими фильтрационные барьеры клубочковых капилляров. Мало что известно о способах и регуляции энергетической активности подоцитов, а также о типе энергетического субстрата, который в основном используется для их активности. Недавние исследования показали, что нарушение функции передачи энергии в подоцитах может лежать в основе повреждения, связанного с многочисленными заболеваниями клубочков [10].

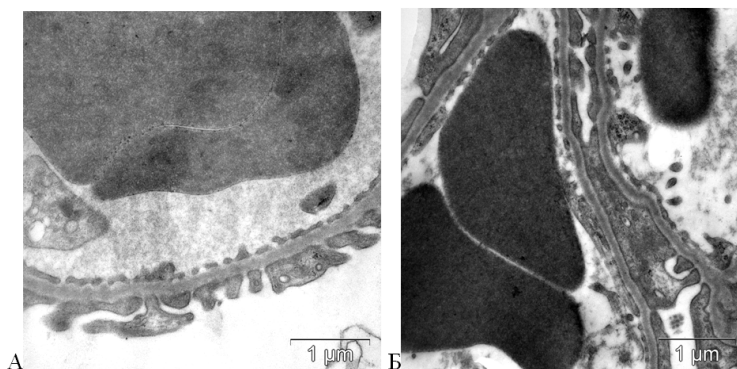


Рисунок 2 – Ультраструктура фильтрационного барьера почки мышей линии СВА контрольной группы (А) и через 30 суток опухолевого роста (Б). Снижение количества цитоподий и возрастание их толщины, уменьшение количества фенестр в условиях отдаленного опухолевого роста.

Через 30 суток эксперимента была отмечена тенденция к уменьшению толщины базальной мембраны клубочковых капилляров, а также уменьшение на 36 % количества фенестров эндотелиоцитов клубочковых капилляров (табл. 2).

Эндотелий капилляров состоит из сильно уплощенных эндотелиоцитов с фенестрами размером 0,1 мкм. Эндотелий лежит на трехслойной базальной мембране, общей для эндотелиоцитов и подоцитов. Наружный и внутренний слой в мембране светлые, а средний – темный. В темном слое находятся микрофибриллы, которые образуют сеть. Через эти ячейки в мочу могут попасть только очень мелкие белковые молекулы. Капсула клубочка образована двумя листками капсулы: париетальным и висцеральным, разделенными щелевидной полостью капсулы. Внутренний листок капсулы нефрона состоит из одного слоя подоцитов. От тела подоцитов во все стороны отходят крупные отростки цитотрабекулы, а от цитотрабекул – более мелкие отростки – цитоподии. Цитоподии прикрепляются к базальной мембране, между ними имеются фильтрационные. Эндотелий капилляров, трехслойная мембрана и мембраны между цитоподиями подоцитов образуют фильтрационный барьер, через который из плазмы крови фильтруется первичная моча. Этот фильтр пропускает воду, соли,

низкомолекулярные белки затянутые фильтрационной диафрагмой – главным компонентом барьера [11].

Таблица 2 – Результаты морфометрического исследования структурных компонентов нефрона у мышей

Параметр	Группы (M ± SD)	
	Контроль	30 сутки опухолевого роста
БМ клубочковых капилляров (мкм)	0,15 ± 0,04	0,11 ± 0,03
Количество цитоподий (n)	8,17 ± 2,92	7,71 ± 310
Толщина цитоподий (мкм)	0,26 ± 0,21	0,31 ± 0,36
Фенестры эндотелиоцитов клубочковых капилляров (n)	3,62±2,42	2,33 ± 1,12*
БМ проксимального канальца (мкм)	0,10 ± 0,02	0,10 ± 0,03
БМ дистального канальца (мкм)	0,09 ± 0,02	0,05 ± 0,01

*Примечание:* Количество цитоподий и фенестров эндотелиоцитов клубочковых капилляров рассчитано на 11,2 мкм тестовой линии:

\* - по отношению к группе контроля.

Клубочковой эндотелий является высоко фенестрированным, покрыт богатым гликокаликсом, участвует в свойствах просеивания клубочкового барьера фильтрации и в поддержании структуры подоцитов. Микрососудистый эндотелий в перитубулярных капиллярах, который также фенестрируется, транспортирует реабсорбированные компоненты и участвует в функции эпителиальных клеток. Эндотелий крупных и мелких сосудов поддерживает сосудистую сеть почек [12].

Фенестры представляют собой небольшие поры в эндотелии почечных клубочковых и участвуют в двунаправленном обмене молекул между кровью и тканями. Хотя десятилетия исследований характеризовали фенестры на ультраструктурном уровне, мало известно о механизмах, с помощью которых формируются фенестры [13].

Изучение базальной мембраны дистального и проксимального канальца отдела нефрона выявило уменьшение высоты эпителиоцитов дистального канальца на 44 % и проксимального канальца отдела нефрона без изменений (табл 2).

Наблюдали набухание эпителиоцитов проксимального отдела, расширение цистерн гранулярного эндоплазматического ретикулума и снижение содержания прикрепленных рибосом. Митохондрии также имели набухший вид, с нарушением структуры матрикса и снижением содержания крист. Митохондрии являются важнейшими органеллами, которые продуцируют и доставляют аденозинтрифосфат (АТФ), необходимый для развития всех клеточных процессов. Механизмы, контролирующие биогенез, функцию и динамику митохондрий, сложны и различаются для разных типов клеток.

**Заключение.** Таким образом, в условиях моделирования гепатокарциномы-29 в мышечной ткани бедра экспериментальных животных в почке наблюдаются структурные изменения, свидетельствующие о нарушении функции органа. Происходит уменьшение просвета капсулы почечного тельца, снижаются размеры капиллярных клубочков, уменьшается количество фенестр в эндотелии кровеносных капилляров, происходит слияние ножек подоцитов, развиваются отек и набухание эпителиоцитов дистального и проксимального отдела нефрона.

## Список литературы

- 1 Наточин А. Ю. Почему же природа выбрала калий? // Наука и жизнь. - 2019. - № 3. - С. 12-19.
- 2 Рахметова А. М., Бахбаева С. А., Досымбекова Р. С. Структурная организация нефрона в условиях отдаленного опухолевого роста // Материалы III международной морфологической научно-практической конкурс-конференции студентов и молодых ученых "морфологические науки - фундаментальная основа медицины" / сост. А. П. Надеев. - Новосибирск : ИПЦ НГМУ. - 2018. - С. 179-182.

- 3 Москвина Л. В., Андреева Ю. Ю., Мальков П. Г., Франк Г. А., Алексеев Б. Я., Калпинский А. С., Прядилова Е. В. Клинически значимые морфологические параметры почечно-клеточного рака // Онкология. - 2013. - № 4. - С. 34-39.
- 4 Scott RP., Quaggin SE. Review series: The cell biology of renal filtration // J Cell Biol. - 2015. Vol. 209 (2). - P. 199-210.
- 5 Sasaki T., Tsuboi N., Haruhara K., Okabayashi Y., Kanzaki G., Koike K., Kobayashi A., Yamamoto I., Ogura M., Yokoo T. Bowman Capsule Volume and Related Factors in Adults With Normal Renal Function. Kidney Int Rep. - 2017. - Vol. 3(2). - P. 314-320. doi: 10.1016/j.ekir.2017.10.007.
- 6 Pollak MR., Quaggin SE., Hoenig MP., Dworkin LD., Clin J. The glomerulus: the sphere of influence. Am Soc Nephrol. - 2014. - Vol. 9(8). - P. 1461-9. doi: 10.2215/CJN.09400913.
- 7 Al Hussain T., Al Mana H., Hussein MH., Akhtar M. Podocyte and Parietal Epithelial Cell Interactions in Health and Disease. Adv Anat Pathol. - 2017 - Vol. 24(1). - P. 24-34.
- 8 Попов С. В., Гусейнов Р. Г., Горшков А. Н., Сивак К. В., Яблонский П. К., Скрябин О. Н., Виноградова Т. И. Изменения ультраструктурной организации почки в условиях экспериментально смоделированной тепловой ишемии при оперативном вмешательстве // Вестник. СПбГУ. Сер. 11. Медицина. - 2016. - Вып. 1. - С. 104-119.
- 9 Reiser J., Altintas MM. Podocytes // F1000Res. - 2016 - Vol. 5. - P. 114.
- 10 Imasawa T., Rossignol R. Podocyte energy metabolism and glomerular diseases // Int J Biochem Cell Biol. - 2013. - Vol. 45(9). - P. 2109-2118. doi: 10.1016/j.biocel.2013.06.013.
- 11 Селина И. А., Козлова В. С. Морфофункциональная характеристика почки в норме и при гломерулонефрите // Молодёжь XXI века: шаг в будущее : Материалы XVIII региональной научно-практической конференции (18 мая 2017 года) - Благовещенск : Изд-во БГПУ, - 2017. - С. 958-959
- 12 Jourde-Chiche N., Fakhouri F., Dou L., Bellien J., Burtsey S., Frimat M., Jarrot PA., Kaplanski G., Le Quintrec M., Pernin V., Rigother C., Sall'e M., Fremaux-Bacchi V., Guerrot D., Roumenina LT. Endothelium structure and function in kidney health and disease. Nat Rev Nephrol. - 2019. - Vol. 15 (2). - P. 87-108.
- 13 Ioannidou S., Deinhardt K., Miotla J., Bradley J., Cheung E., Samuelsson S., Ng YS., Shima DT. An in vitro assay reveals a role for the diaphragm protein PV-1 in endothelial fenestra morphogenesis. Proc Natl Acad Sci U S A. - 2006. - Vol. 103(45). - P. 16770-16775.

А.М. Рахметова<sup>1</sup>, Н.П. Бгатова<sup>2</sup>, Ш.М. Жумадина<sup>3</sup>

<sup>1</sup> С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар, Қазақстан.

<sup>2</sup> Клиникалық және эксперименттік лимфологияның ғылыми-зерттеу институты - Федералды мемлекеттік бюджеттік ғылыми мекеменің филиалы «Ресей ғылым академиясының Сібір бөлімінің цитология және генетика институтының федералдық зерттеу орталығы», Новосібір, Ресей.

<sup>3</sup> «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті» АҚ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

#### Қашықтағы ісіктің өсу жағдайындағы бүйректің құрылымдық ұйымдастырылуы

**Аңдатпа:** Экспериментте ісік моделі ретінде алынған гепатокарцинома-29 ды СВА желілі тышқандардың жамбас бұлшықеттеріне егіліп, олардың бүйрегінің құрылымдық ұйымдастырылуын байқадық. Жарық және электрондық микроскопия әдістерімен нефронның ультрақұрылымын бағаладық.

30 тәуліктен кейін бүйрек құрылымындағы ісік өсуі бар жануарларда бүйрек денешігінің саңылау капсуласының мөлшерінің азаюы, қылтамырлардың көлемдік тығыздығының төмендеуі, бүйрек денешігінің интерстициальдық кеңістігінің мөлшерінің артуы анықталды. Подоциттердің цитоплазмасының ісінуі, цитоподиялардың саны мен қалыңдығының азаюы, қылтамырлар эндотелиоциттеріндегі фенестр санының төмендеуі, бүйректің проксималды және дистальды бөлігінің эпителиоциттерінің ісінуі байқалды. Аталған өзгерістер қашықтағы ісіктің өсу жағдайында бүйрек фильтрінің барьерлік қасиеттерінің өзгеруін куәландырады.

**Түйін сөздер:** бүйрек, гепатокарцинома-29, нефрон құрылымы

A. M. Rakhmetova<sup>1</sup>, N. P. Bgatova<sup>2</sup>, Sh. M. Zhumadina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pavlodar state University. S. Toraiyrov, Pavlodar, Kazakhstan.

<sup>2</sup> Research Institute of clinical and experimental lymphology – branch of the Federal state budgetary scientific institution «Federal research center Institute of Cytology and genetics of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences», Novosibirsk, Russia,

<sup>3</sup> joint Stock company Kazakh agrotechnical University. S. Seifullina, Nursultan, Kazakhstan

#### Structural organization of the kidney in conditions of distant tumor growth

**Annotation:** In an experiment on mice of the SBA line, the structural organization of the kidney was studied with the development of experimental hepatocarcinoma – 29 transplanted into the hip area. The nephron ultrastructure was evaluated by light and electron microscopy. After 30 days of the experiment in animals with tumor growth in the structure of the kidneys revealed a decrease in the size of the lumen of the capsule of the renal body, a decrease in the volume density of the capillary glomeruli, an increase in the size of the interstitial spaces of the renal body. Noted swelling of the cytoplasm of podocytes, reduction in the number and thickness sitapati, reducing the fenestre in endothelial cells of glomerular capillaries, swelling of epithelial cells of proximal and distal kidney. The noted changes indicate a change in the barrier properties of the renal filter in the conditions of distant tumor growth.

**Keywords:** kidney, hepatocarcinoma-29, nephron structure

## References

- 1 Natchin A. Yu. Pochemu zhe priroda vybrala kaliy? [Why did nature choose potassium?], *Nauka i zhizn*, (3), 12-19 (2019) [in Russian].
- 2 Rakhmetova A. M., Bakhbayeva S. A., Dosymbekova R. S., Ctrukturnaya organizatsiya nefrona v usloviyakh otдалennogo opukholevogo rosta [Structural organization of the nephron in conditions of distant tumor growth], *Materialy III mezhdunarodnoy morfologicheskoy nauchno-prakticheskoy konkurs-konferentsii studentov i molodykh uchenykh "morfologicheskkiye nauki - fundamentalnaya osnova meditsiny" / sost. A. P. Nadeyev. - Novosibirsk : IPTs NGMU, 179-182 (2018) [in Russian].*
- 3 Moskvina L. V., Andreyeva Yu. Yu., Malkov P. G., Frank G. A., Alekseyev B. Ya., Kalpinskiy A. S., Pryadilova E. V. Klinicheski znachimyye morfologicheskkiye parametry pochechno-kletochnogo raka [Clinically significant morphological parameters of the renal cell Cancer], *Onkologiya*, (4), 34-39 (2013) [in Russian].
- 4 Scott RP., Quaggin SE. Review series: The cell biology of renal filtration, *J Cell Biol*, 209 (2), 199-210 (2015)
- 5 Sasaki T., Tsuboi N., Haruhara K., Okabayashi Y., Kanzaki G., Koike K., Kobayashi A., Yamamoto I., Ogura M., Yokoo T. Bowman Capsule Volume and Related Factors in Adults With Normal Renal Function, *Kidney Int Rep*, 3(2), 314-320 (2017) doi: 10.1016/j.ekir.2017.10.007.
- 6 Pollak MR., Quaggin SE., Hoenig MP., Dworkin LD., Clin J. The glomerulus: the sphere of influence, *Am Soc Nephrol*, 9(8), 1461-1469 (2014) doi: 10.2215/CJN.09400913.
- 7 Al Hussain T., Al Mana H., Hussein MH., Akhtar M. Podocyte and Parietal Epithelial Cell Interactions in Health and Disease, *Adv Anat Pathol*, 24(1), 24-34 (2017)
- 8 Popov S. V., Guseynov R. G., Gorshkov A. N., Sivak K. V., Yablonskiy P. K., Skryabin O. N., Vinogradova T. I. Izmeneniya ultrastrukturnoy organizatsii pochki v usloviyakh eksperimentalno smodelirovannoy teplovoy ishemii pri operativnom vmeshatelstve [Vinogradova Changes in the ultrastructural organization of the kidney under experimental conditions simulated thermal ischemia during surgery], *Vestnik. SPbGU, Ser. 11. Meditsina*, (1), 104-119 (2016) [in Russian].
- 9 Reiser J., Altintas MM. Podocytes, *F1000Res*, (5), 114 (2016)
- 10 Imasawa T., Rossignol R. Podocyte energy metabolism and glomerular diseases, *Int J Biochem Cell Biol*, 45(9), 2109-2118 (2013) doi: 10.1016/j.biocel.2013.06.013.
- 11 Selina I. A., Kozlova V. S. Morfofunktsionalnaya kharakteristika pochki v norme i pri glomerulonefrite [Morphological and functional characteristics of the kidney are normal and with glomerulonephritis], *Molodezh XXI veka: shag v budushcheye : Materialy XVIII regionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (18 maya 2017 goda), Blagoveshchensk : Izd-vo BGPU, 958-959 (2017) [in Russian].*
- 12 Jourde-Chiche N., Fakhouri F., Dou L., Bellien J., Burtsey S., Frimat M., Jarrot PA., Kaplanski G. Le., Quintrec M., Pernin V., Rigother C., Sall'e M., Fremeaux-Bacchi V., Guerrot D., Roumenina LT. Endothelium structure and function in kidney health and disease, *Nat Rev Nephrol*, 15 (2), 87-108 (2019)
- 13 Ioannidou S., Deinhardt K., Miotla J., Bradley J., Cheung E., Samuelsson S., Ng YS., Shima DT. An in vitro assay reveals a role for the diaphragm protein PV-1 in endothelial fenestra morphogenesis, *Proc Natl Acad Sci U S A*, 103(45), 16770-16775 (2006)

### Сведения об авторах

*Разметова А. М.* – докторант кафедры биологии и экологии по специальности 6D060700-Биология, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, 140013, ул. Ломова 64, Павлодар, Казахстан.

*Бгатова Н. П.* – д.б.н., профессор, заведующая лабораторией ультраструктурных исследований НИИ клинической и экспериментальной лимфологии – филиала ФГБНУ ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН, ул. Акад. Тимакова 2, Новосибирск, Россия.

*Жумадина Ш. М.* – д.б.н., профессор кафедры «Биологические науки», Казахский агротехнический университет им. С. Сейфулина, проспект Женис, 62, Нур-Султан, Казахстан.

*Разметова А. М.* – С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің биология және экология кафедрасының 6D060700-Биология мамандығының докторанты. 140013, Ломов көш., 64, Павлодар, Қазақстан.

*Бгатова Н. П.* – б.ғ.д., профессор, клиникалық және эксперименттік лимфологияның ғылыми-зерттеу институты – Федералды мемлекеттік бюджеттік ғылыми мекеменің филиалы – Ресей ғылым академиясының Сібір бөлімінің цитология және генетика институтының федералдық зерттеу орталығының, ультрақұрылымдық зерттеулер зертханасының меңгерушісі. Академика Тимакова көш., 2, Новосібір, Ресей.

*Жумадина Ш. М.* – «С. Сейфулин атындағы Қазақ агротехникалық университеті» АҚ-ның «Биологиялық ғылымдар» кафедрасының б.ғ.д., профессор.Женис алаңы 62, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

*Rakhmetova A. M.* – PhD student of Biology and Ecology Department in 6D060700- Biology, S. Toraihyrov Pavlodar State University, 140013, 64 Lomov street, Pavlodar, Kazakhstan.

*Bgatova N.P.* – Doctor of Biological Sciences, professor, head of laboratory of Ultrastructural Research Institute of Clinical and Experimental Lymphology Laboratory – branch of FSBSI Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics SB RAS, 2 Academician Timakov street, Novosibirsk, Russia.

*Zhumadina Sh.M.* – Doctor of Biological Sciences, professor of Biological Sciences Department, JSC S. Seifullin Kazakh Agrotechnical university, 62 Zhenis Avenue, Nur-Sultan, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 15.10.2019