



Научная статья
УДК 616.61 : 57.034.019.941
<https://doi.org/10.24884/1609-2201-2025-104-1-54-58>

В. Н. МИНЕЕВ, Д. И. МАМЕДОВА

ЦИРКАДНЫЕ РИТМЫ ПРИ НЕКОТОРЫХ НЕФРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ

Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию 06.02.2025; одобрена после рецензирования 26.02.2025; принята к публикации 19.03.2025

Резюме

К настоящему времени хорошо известно, что циркадные часы — это эволюционно сохранившийся механизм, который адаптирует физиологические процессы организма к циркадным циклам. Циркадные ритмы функций почек являются неотъемлемой частью физиологии почек.

Кратко рассмотрены наиболее известные общие данные о механизме работы циркадных часов, а также особенности течения некоторых нефрологических заболеваний с точки зрения циркадных ритмов.

Приходится констатировать, что исследований о влиянии циркадных ритмов на течение заболеваний почек крайне мало, особенно клинических исследований.

Ключевые слова: циркадные ритмы, заболевания почек

Для цитирования: Минеев В. Н., Мамедова Д. И. Циркадные ритмы при некоторых нефрологических заболеваниях. Оригинальные исследования. *Новые Санкт-Петербургские врачебные ведомости*. 2025;104(1):54–58. <https://doi.org/10.24884/1609-2201-2025-104-1-54-58>.

* **Автор для переписки:** Валерий Николаевич Минеев, Первый Санкт-Петербургский государственный университет им. акад. И. П. Павлова, 197022, Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6–8. E-mail: vnmineev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0352-8137>.

Research article

CIRCADIAN RHYTHMS IN SOME NEPHROLOGICAL DISEASES

VALERIY N. MINEEV, JAMILYA I. MAMEDOVA

Pavlov University, Saint Petersburg, Russia

The article was submitted 06.02.2025; approved after reviewing 26.02.2025; accepted for publication 19.03.2025

Summary

By now, it is well known that the circadian clock is an evolutionarily preserved mechanism that adapts the physiological processes of the body to circadian cycles. Circadian rhythms of kidney function are an integral part of kidney physiology.

The most well-known general data on the mechanism of the circadian clock, as well as the features of the course of some nephrological diseases in terms of circadian rhythms, are briefly considered.

It has to be stated that there are very few studies on the effect of circadian rhythms on the course of kidney disease, especially clinical studies.

Keywords: circadian rhythms, kidney diseases

For citation: Mineev V. N., Mamedova D. I. Circadian rhythms in some nephrological diseases. Original research. *New St. Petersburg Medical Records*. 2025;104(1):54–58. <https://doi.org/10.24884/1609-2201-2025-104-1-54-58>.

* **Corresponding author:** Valeriy N. Mineev, Pavlov University, 6–8, L'va Tolstogo str., Saint Petersburg, 197022, Russia. E-mail: vnmineev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0352-8137>.

“TIME IS OUT OF JOINT”

(«Время вышло из-под контроля...») [1]

(«Распалась связь времен») [2]

К настоящему времени хорошо известно, что циркадные часы — это эволюционно сохранившийся механизм, который адаптирует физиологические процессы организма к суточным циклам продолжительностью около 24 часов, влияя на широкий спектр процессов, таких как переход от сна к бодрствованию, режим питания и голодания, температуру тела и гормональную регуляцию. Как генетические, так и экологические нарушения циркадного ритма

могут быть связаны с различными заболеваниями, начиная от нарушения сна и заканчивая нарушениями обмена веществ и развитием рака [3].

Циркадные ритмы функции почек являются неотъемлемой частью физиологии почек, однако считается, что эта область циркадной физиологии почек требует дополнительных обширных исследований [4], особенно исследований при нарушениях этих биологических ритмов в па

К настоящему времени хорошо известно, что циркадные часы — это эволюционно сохраненный механизм, который адаптирует физиологические процессы организма к суточным циклам продолжительностью около 24 часов, влияя на широкий спектр процессов, таких как переход от сна к бодрствованию, режим питания и голодания, температуру тела и гормональную регуляцию. Как генетические, так и экологические нарушения циркадного ритма могут быть связаны с различными заболеваниями, начиная от нарушения сна и заканчивая нарушениями обмена веществ и развитием рака [3].

Циркадные ритмы функции почек являются неотъемлемой частью физиологии почек, однако считается, что эта область циркадной физиологии почек требует дополнительных обширных исследований [4], особенно исследований при нарушениях этих биологических ритмов в патологии, и изучения лечебного потенциала хромотерапии при почечных заболеваниях [5].

Наш интерес к циркадным ритмам в нефрологии возник неожиданно в связи с анализом методологии проведения пробы Зимницкого как «суточного нефромониторирования» [6], результаты которого, несомненно, отражают как центральные, так и локальные циркадные почечные ритмы.

Рассмотрим кратко известные наиболее общие данные о механизме работы циркадных часов.

Центральная регуляция работы циркадных часов. Предполагается, что главный водитель ритма расположен в супрахиазматическом ядре (SCN) гипоталамуса. Эти центральные часы управляются световыми сигналами, передаваемыми от сетчатки через ретиногипоталамический тракт. Циркадные часы представляют собой сеть взаимосвязанных контуров обратной связи, которые генерируют клеточно-автономные, самоподдерживающиеся циркадные колебания транскрипции.

Достаточно подробно механизмы регуляции циркадных ритмов, включая молекулярные и генетические, рассмотрены во множестве зарубежных статей, а также в отечественном обзоре, посвященном роли почки в регуляции суточных ритмов организма [7].

Так, в обзоре [7] при описании циклических изменений экспрессии генов отмечается, что у млекопитающих так называемая основная петля обратной связи активируется комплексом, включающим транскрипционные активаторы BMAL1 и CLOCK и регулирующим экспрессию генов путем связывания элементов ответа E-box в промоторной области генов-мишеней.

BMAL1 и CLOCK управляют транскрипцией генов семейств Period (PER1, 2 и 3) и Cryptochrome (CRY1 и 2), а также генов ядерных рецепторов - ROR и REV-ERBa. PER и CRY ингибируют актив-

ность BMAL1-CLOCK, образуя, таким образом, ингибирующую ветвь петли обратной связи. ROR и REV-ERBa контролируют транскрипцию BMAL1.

Посттрансляционная модификация (фосфорилирование, ацетилирование и убиквитилирование) контролирует стабильность и поступление в ядро циркадных белков, что способствует точному хронометражу часового механизма [8]. Считается, что центральные часы в SCN синхронизируют функции периферических часов, их взаимосвязь.

Первое научное описание циркадных ритмов в почках было опубликовано в середине XIX в. Эдвардом Смитом, британским врачом, который выявил ритмы выделения мочевины и воды с мочой путем анализа образцов мочи, которые ежедневно отбирались у заключенных лондонской тюрьмы Колдбат-Филдс [9].

К настоящему времени известно, что многочисленные процессы в почках проявляют циркадные ритмы, включая скорость клубочковой фильтрации (СКФ), почечный ток плазмы и почечную экскрецию воды и основных растворенных веществ с мочой. На уровне транскрипции экспрессия циркадных генов, включая Clock, Bmal1, Cry1, Cry2, Per1 и Per2, колеблется с приблизительно 24-часовым ритмом [10].

В настоящем обзоре рассмотрены некоторые известные аспекты возможного влияния циркадных ритмов на течение почечных заболеваний, а также, что представлялось нам наиболее интересным и важным, — это рассмотрение возможности использования данных о циркадных ритмах в лечебном процессе.

В свое время (в 80-е гг. XX в.) подобный подход был применен на кафедре госпитальной терапии им. ак. М. В. Черноруцкого Первого СПбГМУ им. ак. И. П. Павлова под руководством член-корреспондента РАН, профессора Г. Б. Федосеева, в отношении бронхиальной астмы [11].

К сожалению, исследований лечебного воздействия, основанного на циркадных ритмах у людей, крайне мало. В основном они только планируются в отношении хронической болезни почек, диабетической нефропатии, раке почки. По понятным причинам гораздо больше исследований, касающихся циркадного ритма артериального давления при различных заболеваниях почек, включая различные варианты хронического гломерулонефрита.

Рассмотрим некоторые примеры клинических исследований влияния циркадных ритмов на особенности течения и лечения заболевания.

В журнале «Нефрология» опубликованы две статьи, касающиеся суточных ритмов артериального давления у больных хроническим гломерулонефритом, а также у больных диабетической нефропатией [12, 13].

Так, целью исследования [12] явилось изучение циркадного ритма АД у больных с хроническим гломерулонефритом с нормальным уровнем АД и артериальной гипертензией). Ночное снижение АД на 10–20% отмечается у 95% здоровых лиц. В данном исследовании [12] по типу суточных кривых для САД и ДАД выделяли группы: “dipper” с ночным снижением АД (10–22%), “non-dipper” (<10%), “night-peaker” с повышением АД в ночное время. Было отмечено, что суточный профиль АД типа “non-dipper” преобладал в обеих группах (по САД — 62,5% и 61,5%, по ДАД — 68,8% и 61,5%). Группа “night-peaker” несколько чаще встречалась у больных с хроническим гломерулонефритом с артериальной гипертензией (по САД — 37,5% и 30,7%, по ДАД — 18,7% и 7,7%), тогда как в группе “dipper” наблюдались обратные соотношения (по САД — 0 и 7,8%, по ДАД — 12,5% и 30,8%). Делается вывод [12] о том, у больных с хроническим гломерулонефритом как с артериальной гипертензией, так и с изолированным мочевым синдромом, выявляются нарушения циркадного ритма, причем суточная кривая в обеих группах чаще характеризуется недостаточным ночным снижением артериального давления.

Еще в одной работе [13] в качестве цели была оценка роли нарушений суточных ритмов артериального давления (АД) в прогрессировании хронической почечной недостаточности (ХПН) у пациентов с хроническим гломерулонефритом (ХГН) и диабетической нефропатией (ДН), их взаимосвязь с активностью ренин-ангиотензин-альдостероновой системы (РААС). Было показано, что скорость прогрессирования ХПН у больных с ДН выше, чем при ХГН при нормальном суточном ритме или достигнутом целевом уровне АД. Больные ХГН и ДН с нарушенным суточным ритмом или недостигнутым целевым уровнем АД имели примерно одинаковую скорость прогрессирования ХПН [13].

Отметим, что суточные осцилляции артериального давления являются наиболее изученными, наряду с циркадными колебаниями температуры, частоты сердечных сокращений. Выдвинут ряд концепций, которые объясняют механизмы циркадного нарушения артериального давления [14, 15].

При этом подчеркивается, что отсутствие снижения артериального давления ночью может быть одним из механизмов, вызывающих сердечно-сосудистые осложнения при хронической болезни почек, а также известно, что состояние “non-dipper” ассоциировано с развитием метаболического синдрома [15].

Любопытно, что циркадный ритм артериального давления нормализуется после трансплантации почки [16, 17].

В связи с обсуждаемыми циркадными ритмами артериального давления представляет интерес экспериментальная работа [18] с использованием крыс со спонтанной гипертензией, склонных к инсульту, в которой животных подвергали длительному нарушению циркадных ритмов путем продления световой фазы на 6 часов каждые 7 дней в течение 6 недель. При этом ритмы диуреза и экскреции эндотелина-1 в течение 6-недельного исследования были подавлены, этот эффект был связан с повышением уровней маркеров повреждения почек нефрина и KIM-1 в моче.

Таким образом, нарушение циркадного ритма всего за 6 недель может ослабить циркадную функцию почек и вызвать повреждение почек.

Также представляет интерес недавнее исследование, в котором авторы впервые выявили ассоциацию циркадных ритмов и люпус-нефрита [19].

Так, было показано, что прогноз развития люпус-нефрита зависит от баланса таких генных маркеров циркадного ритма, как COL1A2/DOCK2, причем, по мнению авторов, разработка лечебного подхода, влияющего на этот дисбаланс, позволит улучшить прогноз этого осложнения системной красной волчанки [19].

Как было отмечено выше, гены семейства PER (Period) участвуют в регуляции циркадных ритмов. В обзоре [20] рассматриваются исследования роли семейства генов PER в качестве потенциальных биомаркеров риска и прогноза развития рака. При раке почки выявлено снижение экспрессии в почечной ткани циркадного гена PER2, что, как считают авторы [21], может определять начало и прогрессирование опухолевого процесса.

Что касается подхода к хронотерапии, этот метод основан на хронофармакологии, включающей фармакокинетику и фармакодинамику лекарств, распределение которых в организме подвержено циркадным изменениям. В целом хронотерапия применяет хронофармакологические исследования к клиническим методам лечения, определяя наилучшее биологическое время для введения препарата: когда положительный эффект максимален, а частота и/или интенсивность сопутствующих побочных эффектов и токсичности минимальны [22].

Большинство водорастворимых лекарств или их метаболитов выводится с мочой через почки. Скорость выведения лекарств с мочой зависит от нескольких внутренних переменных, связанных с функцией почек, включая почечный кровоток, скорость клубочковой фильтрации, способность почек реабсорбировать или секретировать лекарства, pH мочи, который влияет на степень подкисления мочи. Важно, что все эти параметры

имеют, как показано на различных моделях млекопитающих, [22] циркадные характеристики.

В обзоре [22] приведен ряд примеров, преимущественно на экспериментальных моделях, взаимосвязи между циркадными ритмами и фармакологическими эффектами различных групп препаратов: метотрексата, антагониста ангиотензина II, фуросемида, урикозурических диуретиков, антимикробных препаратов и микофенолата мофетила.

Еще один недавний (2025) обзор [23] заслуживает упоминания, в котором анализируется на основе экспериментальных данных терапевтический потенциал хронотерапии гломерулярной патологии, в частности, патологии подоцитов – этой «ахиллесовой пятой» клубочка [24]. Любопытно, что глюкокортикоиды, которые часто используются для лечения гломерулярных заболеваний, восстанавливают работу подоцитов и индуцируют ритмичную экспрессию генов, потенциально связанных с гломерулярными заболеваниями с нефротическим синдромом.

В целом, приходится констатировать, что, несмотря на очевидное участие циркадных ритмов в развитии как самих заболеваний почек, так и в циркадной деятельности почек по отношению к лекарственной терапии, исследований в этой области крайне мало, и прежде всего, мало клинических исследований.

Вклад авторов

Вклад каждого автора одинаков и заключается в обзоре публикаций по теме статьи и написании текста рукописи.

Authors' contribution

The contribution of each author is the same and consists in reviewing publications on the topic of the article and writing the text of the manuscript.

Конфликт интересов

Конфликт интересов отсутствует.

Conflict of interests

There is no conflict of interest.

Финансирование

Спонсорской помощи не было.

Funding

There was no sponsorship.

Список источников

- Agriesti F., Cela O., Capitanio N. "Time Is out of Joint" in Pluripotent Stem Cells: How and Why // *Int. J. Mol. Sci.* 2024. Vol. 25. P. 2063. <https://doi.org/10.3390/ijms25042063>.
- Энциклопедический словарь крылатых слов и выражений. М.: Локид-Пресс. 2003. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/dic_wing/words/2349/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%8C?ysclid=m6nnf9kw1218482757 (дата обращения: 20.02.25).
- Dierickx P., Van Laake L. W., Geijsen N. Circadian clocks: from stem cells to tissue homeostasis and regeneration // *EMBO Rep.* 2018. Vol. 19, № 1. P. 18–28. <https://doi.org/10.15252/embr.201745130>.
- Costello H. M., Johnston J. G., Juffe A. et al. Circadian clocks of the kidney: function, mechanism, and regulation // *Physiol Rev.* 2022. Vol. 102, № 4. P. 1669–1701. <https://doi.org/10.1152/physrev.00045.2021>.
- Preston R., Chrisp R., Dudek M. et al. The glomerular circadian clock temporally regulates basement membrane dynamics and the podocyte glucocorticoid response // *Kidney Int.* 2025. Vol. 107, № 1. P. 99–115. <https://doi.org/10.1016/j.kint.2024.10.016>.
- Минеев В. Н. Проба Зимницкого – «суточное нефромониторирование» // *Университетский терапевтический вестник.* 2024. Т. 6, № 2. С. 46–50. <https://doi.org/https://doi.org/10.56871/UTJ.2024.29.99.005>.
- Брюханов В. М., Зверева А. Я. Роль почки в регуляции суточных ритмов организма // *Нефрология.* 2010. Т. 14, № 3. С. 17–31. <https://doi.org/10.24884/1561-6274-2010-14-3-17-31>.
- Stow L. R., Gumz M. L. The circadian clock in the kidney // *J Am Soc Nephrol.* 2011. Vol. 22, № 4. P. 598–604. <https://doi.org/10.1681/ASN.2010080803>.
- Firsov D., Bonny O. Circadian rhythms and the kidney // *Nat Rev Nephrol.* 2018. Vol. 14, № 10. P. 626–635. <https://doi.org/10.1038/s41581-018-0048-9>.
- Solocinski K., Gumz M. L. The Circadian Clock in the Regulation of Renal Rhythms // *J Biol Rhythms.* 2015. Vol. 30, № 6. P. 470–486. <https://doi.org/10.1177/0748730415610879>.
- Федосеев Г. Б., Агаджанян Н. А., Воронов И. Б. и др. Хронобиология легких / под ред. Г. Б. Федосеева, И. Б. Воронова. Ленинград : Наука : Ленинградское отделение, 1987. 102 с.
- Шишкина И. В., Мовчан Е. А., Тов Н. Л. и др. Циркадный ритм артериального давления при разных клинических вариантах хронического гломерулонефрита // *Нефрология.* 2001. Т. 5, № 3. С. 160–161.
- Мосина Н. В., Есаян А. М., Румянцев А. Ш. Суточные ритмы артериального давления у больных хроническим гломерулонефритом и диабетической нефропатией в стадии хронической почечной недостаточности // *Нефрология.* 2004. Т. 8, № 3. С. 62–66. <https://doi.org/10.24884/1561-6274-2004-8-3-62-66>.
- Fukuda M., Goto N., Kimura G. Hypothesis on renal mechanism of non-dipper pattern of circadian blood pressure rhythm // *Med Hypotheses.* 2006. Vol. 67, № 4. P. 802–806. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2006.04.024>.
- Agarwal R. Regulation of circadian blood pressure: from mice to astronauts // *Curr Opin Nephrol Hypertens.* 2010. Vol. 19, № 1. P. 51–58. <https://doi.org/10.1097/MNH.0b013e3283336ddb>.
- Buijsen J. G., van Acker B. A., Koomen G. C. et al. Circadian rhythm of glomerular filtration rate in patients after kidney transplantation // *Nephrol Dial Transplant.* 1994. Vol. 9, № 9. P. 1330–1333.
- Gatzka C. D., Schobel H. P., Klingbeil A. U. et al. Normalization of circadian blood pressure profiles after renal transplantation // *Transplantation.* 1995. Vol. 59, № 9. P. 1270–1274.
- Hill A. M., Crislip G. R., Stowie A. et al. Environmental circadian disruption suppresses rhythms in kidney function and accelerates excretion of renal injury markers in urine of male hypertensive rats // *Am J Physiol Renal Physiol.* 2021. Vol. 320. P. F224–F233. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00421.2020>.
- Jin M., Teng F., Cao B. et al. Integrative analysis of the association between circadian rhythm and lupus nephritis // *Clin Kidney J.* 2023. Vol. 16, № 9. P. 1489–1499. <https://doi.org/10.1093/cjk/sfad092>.
- Chen K., Wang Y., Li D. et al. Biological clock regulation by the PER gene family: a new perspective on tumor development // *Front Cell Dev Biol.* 2024. Vol. 12. P. 1332506. <https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1332506>.
- Mazzocchi G., Piepoli A., Carella M. et al. Altered expression of the clock gene machinery in kidney cancer patients // *Biomed Pharmacother.* 2012. Vol. 66, № 3. P. 175–9. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2011.11.007>.

22. De Lavallaz L., Musso C.G. Chronobiology in nephrology: the influence of circadian rhythms on renal handling of drugs and renal disease treatment // *Int Urol Nephrol*. 2018. Vol. 50, № 12. P. 2221–2228. <https://doi.org/10.1007/s11255-018-2001-z>.
23. Preston R., Chrisp R., Dudek M. et al. The glomerular circadian clock temporally regulates basement membrane dynamics and the podocyte glucocorticoid response // *Kidney Int*. 2025. Vol. 107, № 1. P. 99–115. <https://doi.org/10.1016/j.kint.2024.10.016>.
24. Титова В. А. Роль подоцитов в развитии гломерулосклероза // *Нефрология*. 1999. Т. 3, № 2. С. 7–18. <https://doi.org/10.24884/1561-6274-1999-3-2-7-18>.
- References**
1. Agriesti F., Cela O., Capitanio N. “Time Is out of Joint” in Pluripotent Stem Cells: How and Why. *Int. J. Mol. Sci*. 2024;25:2063. <https://doi.org/10.3390/ijms25042063>.
2. Dictionary of winged words and expressions. Moscow, Lokid-Press, 2003. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/dic_wingwords/2349/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%8C?ysclid=m6nnf9kw1218482757 (accessed: 20.02.25). (In Russ.).
3. Dierickx P., Van Laake L. W., Geijsen N. Circadian clocks: from stem cells to tissue homeostasis and regeneration. *EMBO Rep*. 2018;19(1):18–28. <https://doi.org/10.15252/embr.201745130>.
4. Costello H. M., Johnston J. G., Juffre A. et al. Circadian clocks of the kidney: function, mechanism, and regulation. *Physiol Rev*. 2022;102(4):1669–1701. <https://doi.org/10.1152/physrev.00045.2021>.
5. Preston R., Chrisp R., Dudek M. et al. The glomerular circadian clock temporally regulates basement membrane dynamics and the podocyte glucocorticoid response. *Kidney Int*. 2025;107(1):99–115. <https://doi.org/10.1016/j.kint.2024.10.016>.
6. Mineev V. N. Zimnitskiy’s test – “circadian nephromonitoring”. *University Therapeutic Journal*. 2024;6(2):46–50. (In Russ.). <https://doi.org/https://doi.org/10.56871/UTJ.2024.29.99.005>.
7. Bryukhanov V. M., Zvereva A. J. The kidney role in regulation of circadian rhythms of the organism. *Nephrology (Saint-Petersburg)*. 2010;14(3):17–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/1561-6274-2010-14-3-17-31>.
8. Stow L. R., Gumz M. L. The circadian clock in the kidney. *J Am Soc Nephrol*. 2011;22(4):598–604. <https://doi.org/10.1681/ASN.2010080803>.
9. Firsov D., Bonny O. Circadian rhythms and the kidney. *Nat Rev Nephrol*. 2018;14(10):626–635. <https://doi.org/10.1038/s41581-018-0048-9>.
10. Solocinski K., Gumz M. L. The Circadian Clock in the Regulation of Renal Rhythms. *J Biol Rhythms*. 2015;30(6):470–486. <https://doi.org/10.1177/0748730415610879>.
11. Fedoseev G. B., Aghajanyan N. A., Voronov I. B. et al. Chronobiology of the lungs / eds by G. B. Fedoseev, I. B. Voronov. Leningrad, Nauka, Leningrad department, 1987. 102 p. (In Russ.).
12. Shishkina I. V., Movchan E. A., Tov N. L. et al. Circadian rhythm of arterial pressure in different clinical variants of chronic glomerulonephritis. *Nephrology (Saint-Petersburg)*. 2001;5(3):160–161. (In Russ.).
13. Mosina N. V., Essaia A. M., Romyantsev A. Sh. Circadian rhythms of arterial pressure in patients with chronic glomerulonephritis and diabetic nephropathy in the stage of chronic renal failure. *Nephrology (Saint-Petersburg)*. 2004;8(3):62–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.24884/1561-6274-2004-8-3-62-66>.
14. Fukuda M., Goto N., Kimura G. Hypothesis on renal mechanism of non-dipper pattern of circadian blood pressure rhythm. *Med Hypotheses*. 2006;67(4):802–806. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2006.04.024>.
15. Agarwal R. Regulation of circadian blood pressure: from mice to astronauts. *Curr Opin Nephrol Hypertens*. 2010;19(1):51–58. <https://doi.org/10.1097/MNH.0b013e3283336ddb>.
16. Buijsen J. G., van Acker B. A., Koomen G. C. et al. Circadian rhythm of glomerular filtration rate in patients after kidney transplantation. *Nephrol Dial Transplant*. 1994;9(9):1330–1333.
17. Gatzka C. D., Schobel H. P., Klingbeil A. U. et al. Normalization of circadian blood pressure profiles after renal transplantation. *Transplantation*. 1995;59(9):1270–1274.
18. Hill A. M., Crislip G. R., Stowie A. et al. Environmental circadian disruption suppresses rhythms in kidney function and accelerates excretion of renal injury markers in urine of male hypertensive rats. *Am J Physiol Renal Physiol*. 2021;320:F224–F233. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00421.2020>.
19. Jin M., Teng F., Cao B. et al. Integrative analysis of the association between circadian rhythm and lupus nephritis. *Clin Kidney J*. 2023;16(9):1489–1499. <https://doi.org/10.1093/ckj/sfad092>.
20. Chen K., Wang Y., Li D. et al. Biological clock regulation by the PER gene family: a new perspective on tumor development. *Front Cell Dev Biol*. 2024;12:1332506. <https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1332506>.
21. Mazzocchi G., Piepoli A., Carella M. et al. Altered expression of the clock gene machinery in kidney cancer patients. *Biomed Pharmacother*. 2012;66(3):175–9. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2011.11.007>.
22. De Lavallaz L., Musso C.G. Chronobiology in nephrology: the influence of circadian rhythms on renal handling of drugs and renal disease treatment. *Int Urol Nephrol*. 2018;50(12):2221–2228. <https://doi.org/10.1007/s11255-018-2001-z>.
23. Preston R., Chrisp R., Dudek M. et al. The glomerular circadian clock temporally regulates basement membrane dynamics and the podocyte glucocorticoid response. *Kidney Int*. 2025;107(1):99–115. <https://doi.org/10.1016/j.kint.2024.10.016>.
24. Titova V. A. The role of podocytes in the development of glomerular sclerosis. *Nephrology (Saint-Petersburg)*. 1999;3(2):7–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/1561-6274-1999-3-2-7-18>.

Информация об авторах

Минеев Валерий Николаевич, профессор кафедры госпитальной терапии им. акад. М. В. Черноруцкого, Первый Санкт-Петербургский государственный университет им. акад. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Российская Федерация, vnmineev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0352-8137>; **Мамедова Джамиля Исмаиловна**, студентка 6 курса лечебного факультета, Первый Санкт-Петербургский государственный университет им. акад. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, Российская Федерация, p.mamedov2001@yandex.ru.

Information about authors

Valeriy N. Mineev, Professor of the M. V. Chernorutskiy Department of Hospital Internal Medicine with Course in Allergology and Immunology, Pavlov University, St. Petersburg, Russian Federation, vnmineev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0352-8137>; **Jamilya I. Mamedova**, 6th year student of the Faculty of Medicine, Pavlov University, St. Petersburg, Russian Federation, p.mamedov2001@yandex.ru.