

В.Н. Павлов¹, А.М. Пушкарев¹, С.Ш. Сабирзянов¹, И.П. Семенова², А.В. Поляков²
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ПОЧЕЧНЫХ КАМНЕЙ
МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ**

¹ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»
Минздрава России, г. Уфа

²ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», г. Уфа

Изучение состава почечных камней является важным этапом в диагностике и лечении мочекаменной болезни. Современные методы исследования обеспечивают точную информацию о составе камней. Дальнейшие исследования в области диагностики химической природы конкрементов помогут персонализировать терапию данного заболевания.

Цель данного исследования направлена на изучение состава почечных камней методом рентгеновской дифракции у пациентов с уролитиазом, проживающих на территории Республики Башкортостан.

Материал и методы. В исследование вошли 129 пациентов с диагнозом мочекаменная болезнь. У всех пациентов был выполнен анализ химического состава камня на рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV (Япония) с геометрией Брэгга–Брентано.

Результаты. Среди изъятых из почек камней преобладали оксалаты, а фосфаты и ураты встречались реже. Чаще всего встречались минералы вевелита, затем вевелиты, струвиты, гидроксиапатиты, карбонатаптиты и мочевая кислота.

Ключевые слова: мочекаменная болезнь, нефролитиаз, состав камней, рентгеновская дифракция.

V.N. Pavlov, A.M. Pushkarev, S.Sh. Sabirzyanov, I.P. Semenova, A.V. Polyakov
X-RAY DIFFRACTION IN COMPOSITION ANALYSIS OF KIDNEY STONES

Composition analysis of kidney stones is an important step in the diagnosis and treatment of urolithiasis. Up-to-date research methods, including spectroscopic ones, provide accurate information about the composition of stones. Further research of diagnostics of chemical nature of calculi can help to personalize treatment of this disease.

This study is aimed at studying the composition of kidney stones by X-ray diffraction in patients with urolithiasis living in the Republic of Bashkortostan.

Material and methods. The study included 129 patients diagnosed with urolithiasis. The chemical composition of the stone was analyzed in all patients using a Rigaku Ultima IV X-ray diffractometer (Japan) with Bragg-Brentano geometry.

Results. Oxalates prevailed among the seized stones, while phosphates and urates were less common. And the most common minerals were wevelite, then weddelites, struvites, hydroxyapatites, carbonapatites, uric acid.

Key words: urolithiasis, nephrolithiasis, composition of stones, X-ray diffraction.

Мочекаменная болезнь (МКБ) – это хроническое системное заболевание, являющееся следствием метаболических нарушений и/или влияния факторов внешней среды, проявляющееся образованием конкрементов в почках [1]. Рост распространенности нефролитиаза представляет значительную проблему для глобального здравоохранения и экономики, составив в 2016 году 5-10% [2]. За последние годы заболеваемость данной патологией значительно возросла. Например, в 1970-х годах мочекаменная болезнь на европейском континенте составляла всего 3%, а в 2021 году уже 10% в Европе, 14% в Северной Америке и 20% в Саудовской Аравии [3]. Распространенность МКБ значительно варьирует в зависимости от географического положения региона, возраста, пола пациента и ряда других факторов, которые без должных профилактических мероприятий у 40% пациентов дают рецидивы образования камней в течение трёх лет [4].

Поволжье – это регион, в котором чаще встречаются пациенты с мочекаменной болезнью. Проводимые ранее исследования учёных были направлены на изучение особенности течения заболевания, эффективность оперативного лечения, а также на связь с географией и природой региона [5]. В настоящее время

актуальной является проблема целенаправленного лечения мочекаменной болезни (МКБ), которая требует тщательного изучения химического состава с учетом особенностей образования почечных конкрементов [6].

Согласно клинических рекомендаций Российского общества урологов, рекомендуется использовать рентгенофазовый анализ и инфракрасную спектроскопию для определения состава мочевых камней. Эти методы позволяют провести качественный и количественный анализ состава камня [1].

Установление химической природы нефролитиаза позволяет предположить возможные этиологические причины для его формирования и исключить некоторые патологические процессы. Вариантами симптоматического нефролитиаза являются гиперпаратиреоз (камни богатые кальцием), подагра (камни мочевой кислоты), инфекционные процессы в мочевыводящих путях (при струвитном камне) [7]. Тип камня (кальций оксалат, урат, струвит) позволяет определить оптимальные методы лечения, например, химическая диссолюция как метод растворения камня. Для некоторых типов камней, например, струвитного, уратного [8], возможно проведение литотрипсии (дробление камня), эффективность метода зависит от хими-

ческого состава камня. Хирургическое удаление необходимо для больших конкрементов, устойчивых к другим методам терапии [9-10].

Определение состава камня позволяет врачу разработать план индивидуального наблюдения за пациентом, рекомендовать диету и питьевой режим для профилактики рецидивов. Понимание процессов образования камней помогает узнать больше о механизмах их формирования в почках, разработать новые подходы к лечению и предупреждать их образование [11].

Целью данного исследования является изучение состава почечных камней методом рентгеновской дифракции у пациентов с уролитиазом, проживающих в эндемичном для этого заболевания регионе – Республике Башкортостан.

Материал и методы

В исследование вошли 129 пациентов с подтвержденным диагнозом мочекаменная болезнь, проходивших лечение в РКБ им. Куватова в период с 2019 по 2024 год. Возраст пациентов составил от 24 до 81 года (средний возраст $53,7 \pm 1,4$ года). У всех пациентов после хирургического удаления или после самостоятельного отхождения камня был выполнен анализ его химического состава.

Исследования минерального состава

выполнялись на рентгеновском дифрактометре RigakuUltima IV (Япония) с геометрией Брэгга–Брентано. При проведении анализа использовались CuK α -излучение, напряжение на трубке 40 KV, сила тока 40 тА. Идентификация и количественное определение веществ выполнялись в программном комплексе PDXL 2 с использованием эталонных дифрактограмм индивидуальных соединений, содержащихся в международной базе дифракционных стандартов ICDD PDF-2 2008.

Большинство выделенных камней имели смешанный состав, однако при этом они имели разное соотношение минералов. Это связано с тем, что моча может содержать несколько соединений, и кристаллизация в ней начинается, когда насыщение одного из них превышает определенный уровень. В процессе осаждения участвуют все соединения, но сначала осаждаются те, насыщение которых выше. Когда насыщение одного соединения уменьшается, начинает осаждаться другое, так образуются слои в камне.

Классификация камней проводилась по доминирующему минералу: оксалаты (вевелит ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), ведделлит ($\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)), фосфаты (гидроксиапатиты ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_6$), карбонатапатиты ($\text{Ca}_3(\text{PO}_3)_3(\text{OH})$), струвиты ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и ураты ($\text{C}_3\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$) (рис. 1).

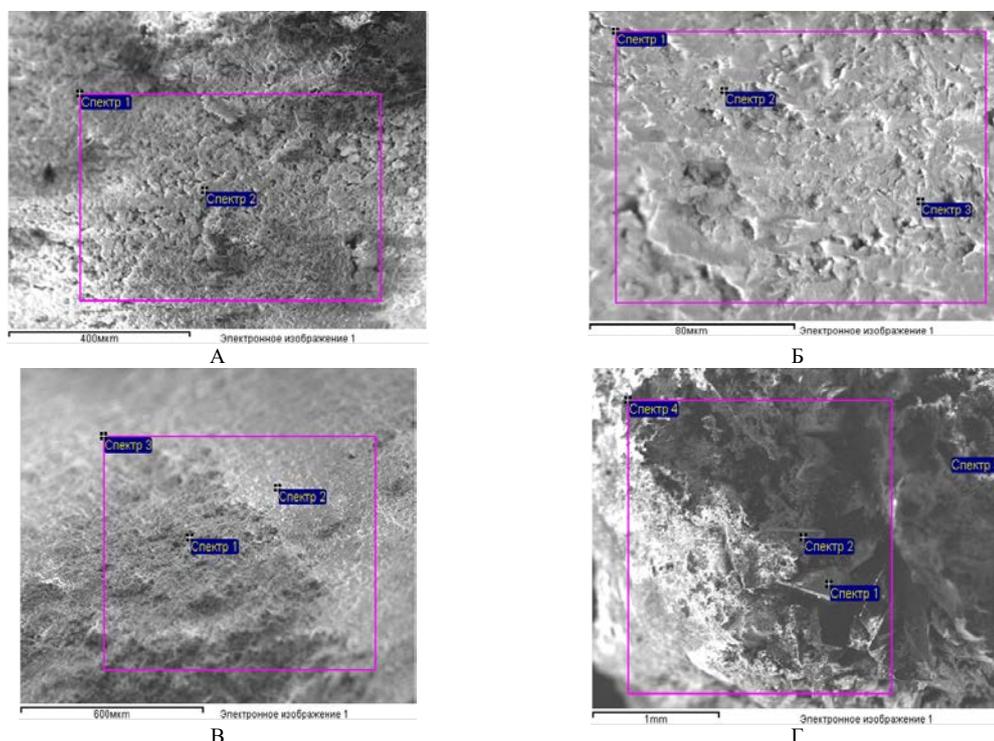


Рис 1. Микрорентгеноспектральный анализ структуры: А– оксалатный камень; Б – фосфатный камень; В – карбонатапатитный камень; Г – камень мочевой кислоты (урат)

Статистический анализ проведен пакетом прикладных программ SPSS-26. Для тестирования различий между группами использова-

ны критерий и критерий Манна–Уитни. Различия рассматривались как статистически значимые при полученных р-значениях менее 0,05.

Результаты

Среди изъятых камней преобладали оксалаты – 57,9%, фосфаты и ураты встречались в 39,0% и 3,1% случаев соответственно, ($p < 0,0001$). Чаще всего встречались минералы вевеллита – 38,4%, реже – веделлиты – 19,5%, струвиты – 17,6%, гидроксиапатиты – 15,5%, карбонатапатиты – 5,7%, мочевая кислота – 3,1% ($p < 0,0001$) (рис. 2).

Среди пациентов с рецидивирующим течением нефролитиаза в минеральном составе конкрементов чаще всего доминировали оксалаты (46,3%) и струвиты (34,1%) ($p = 0,0091$). Однако корреляций между развитием нефролитиаза и химической структурой камня не выявлено ($p = 0,101$).



Рис. 2. Частота встречаемости камней в зависимости от минерального состава у исследуемых пациентов

Обсуждение

Многочисленные патогенетические механизмы образования камней в почках требуют на всех этапах наблюдения проведения мониторинга не только клинических, но и химических, биохимических, бактериологических параметров для индивидуальной коррекции лечения и метафилактики нефролитиаза. Наше исследование позволяет акцентировать внимание на выборе персонализированного подхода к лечению мочекаменной болезни, учитывая распространённость данного заболевания в Республике Башкортостан. Долгое время лечение основывалось на общих рекомендациях, однако с помощью анализа состава камней появилась возможность разработки более эффективных и индивидуальных стратегий. Камни могут состоять из различных веществ, таких как кальций, оксалат, мочевая кислота, струвит и цистин. Разные типы камней образуются по-разному, поэтому важно определить их состав для эффективного лечения. Многие авторы в своих исследованиях подчеркивают, что, зная состав камня, можно подобрать индивидуальные диетические рекомендации, медикаментозную терапию и профилактические меры, чтобы предотвра-

тить образование новых камней и снизить риск рецидива [12].

Немаловажную роль в развитии нефролитиаза занимают микробиота мочи, которая влияет на гомеостаз и отличается по составу у пациентов с мочекаменной болезнью, а также уреазо- гидролитический фермент из группы амидаз, катализирующий гидролиз мочевины до диоксида углерода и аммиака. Именно вследствие жизнедеятельности уреазо- продуцирующих бактерий образуются инфекционные камни – струвиты, карбонатапатиты, камни из урата аммония. Необходимо отметить, что, как правило, при рецидивных камнях к метаболическому пути развития мочекаменной болезни всегда добавляется инфекционный. Риск рецидива камней после операции составляет около 50-80%, а при проведении послеоперационной профилактики этот риск может уменьшиться до 10-15%. После хирургических вмешательств по поводу МКБ имеется опасность развития инфекционных осложнений, синдрома выраженной воспалительной реакции, уросепсиса. Этот риск зависит от вида операции: он более выражен при перкутанных вмешательствах – до 23-27%, уретероскопии – до 9%, внутренней уретротомии – до 8% [6,7].

Большое значение в лечении пациентов с МКБ имеет предотвращение катетерассоциированных инфекций мочевых путей, приводящих к развитию инкрустации внутренних дренажей и развитию стентассоциированных камней. Катетерассоциированная инфекция обуславливает бактериальную персистенцию, является риском развития сепсиса и устойчивости к антибактериальным препаратам. В результате чего течение мочекаменной болезни становится непредсказуемым. Поэтому срок удаления дренажей, катетеров, нефростом как источников персистирующей инфекции мочевых путей, имеет важное значение [8].

Современные высокотехнологичные вмешательства в урологии имеют «подводные камни» и не всегда настолько безопасны, как думают пациенты.

Заключение

Изучение состава камней в почках является важным аспектом диагностики и лечения данного заболевания. Поиск причин литогенеза и коррекция выявленных метаболических нарушений имеет принципиальное значение при наблюдении за пациентами с МКБ. Современные методы исследования позволяют получить всестороннюю информацию о составе камней, разработать эффективные стратегии терапии и профилактики развития нефролитиаза. Доказано, что проведение ме-

тафилактики уролитиаза способно значительно снизить количество рецидивов у больных, а также уменьшить нагрузку на стационарную урологическую службу. Постоянное совершенствование методов анализа и внедрение новых технологий открывают новые возможности повышения качества жизни пациентов с камнями в почках. Более того, применение

результатов исследований способствует разработке персонального подхода к лечению пациентов, что соответствует приоритетному направлению научно-технологического развития РФ, связанного с переходом к персонифицированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям охраны здоровья.

Сведения об авторах статьи:

Павлов Валентин Николаевич – д.м.н., профессор, академик РАН, зав. кафедрой урологии, ректор ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. Тел. 8(347)272-41-73.

Пушкарев Алексей Михайлович – д.м.н., профессор кафедры урологии ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450005, г. Уфа, ул. Достоевского, 132. E-mail: pushkar967@yandex.ru.

Сабирзянов Сабир Шамильевич – врач-уролог БГУЗ РКБ им. Г.Г. Куватова. Адрес: 450005, г. Уфа, ул. Достоевского, 132. E-mail: sobir08-97@mail.ru.

Семенова Ирина Петровна – д.т.н., профессор кафедры металловедения и физики металлов ФГБОУ ВО УУНИТ. Адрес: 450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32. E-mail: semenova-ip@mail.ru.

Поляков Александр Вадимович – к.т.н., в.н.с. лаборатории многофункциональных материалов ФГБОУ ВО УУНИТ. Адрес: 450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32. E-mail: alex-v.polyakov@mail.ru.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мочекаменная болезнь: клинические рекомендации. – 2020. [Электронный ресурс]. URL: http://disuria.ru/_ld/7/733_kr20N20mz.pdf
2. Kidney stones / SR Khan, [et al.] // Nat. Rev. Dis. Primers. – 2016. - Vol. 2. – P. 16008. doi: 10.1038/nrdp.2016.8.
3. Chewcharat, A. Trends in the prevalence of kidney stones in the United States from 2007 to 2016 / A. Chewcharat, G. Curhan // Urolithiasis. – 2021. – Vol. 49, No 1. – P. 27–39. doi: 10.1007/s00240-020-01210-w.
4. Яковец, Е.А. Новые методы анализа состава камней почек и их влияние на прогноз течения и методы профилактики при мочекаменной болезни / Е.А. Яковец, А.И. Губанов, Е.А. Десяткова // Фармакология и Фармакотерапия. – 2022. – № 3. – С. 28-31.
5. Заболеваемость мочекаменной болезнью в Российской Федерации с 2005 по 2020 гг. / А.Д. Каприн [и др.] // Экспериментальная и клиническая урология. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 10-17
6. Микробиологическая характеристика конкрементов почек у пациентов с мочекаменной болезнью / В.Н. Павлов [и др.] // Инновационная медицина Кубани. – 2024. – Т. 9, № 2. – С. 129-134.
7. Метафилактика инфекционных камней почек после перкутанной нефролитотрипсии / Т.С. Перепанова [и др.] // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. – 2018. – Т. 20, № 1. – С. 36-37.
8. Влияние кальциурии на генез мочевого камня различного химического состава / М.Ю. Просянников [и др.] // Экспериментальная и клиническая урология. – 2019. – № 4. – С. 100-103.
9. Встречаемость мочевого камня различного химического состава в зависимости от уровня урикурии / М.Ю. Просянников [и др.] // Урологические ведомости. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 107-113.
10. Дистанционный мониторинг показателей общего анализа мочи при лечении цитратными смесями пациентов с мочекаменной болезнью / М. Ю. Просянников [и др.] // Урология. – 2019. – № 3. – С. 54-59.
11. Патогенетические особенности мочекаменной болезни на фоне сахарного диабета II типа / М.Ю. Просянников [и др.] // Урология. – 2019. – № 1. – С. 28-34.
12. Саенко В.С. Роль питьевых и диетических факторов в эффективном литолизе и метафилактике мочекаменной болезни / В.С. Саенко, С.В. Песегов, Е.А. Фролова // Урология. – 2019. – № 2. – С. 113-118.

REFERENCES

1. Klinicheskie rekomendacii. Mochekamennaja bolezn' (Clinical recommendations Urolithiasis). 2020. [Electronic resource] URL: http://disuria.ru/_ld/7/733_kr20N20mz.pdf (in Russ)
2. Khan SR, [et al.] Kidney stones. Nat. Rev. Dis. Primers. 2016;2:16008. (in Engl) doi: 10.1038/nrdp.2016.8.
3. Chewcharat A, Curhan G. Trends in the prevalence of kidney stones in the United States from 2007 to 2016. Urolithiasis. 2021;49(1):27-39. (in Engl) doi: 10.1007/s00240-020-01210-w.
4. Yakovets E.A., Gubanov A.I., Desyatova E.A. New methods of analyzing the composition of kidney stones and their effect on the prognosis of the course and methods of prevention in urolithiasis. Pharmacology & Pharmacotherapy. 2022; (3): 28-31. (in Russ)
5. Kaprin A.D., Apolikhin O.I., Sivkov A.V. [et al.]. The incidence of urolithiasis in the Russian Federation from 2005 to 2020. Experimental and clinical urology. 2022;15(2):10-17. (in Russ)
6. Pavlov V.N., Pushkarev A.M., Medvedev V.L. [et al.] Microbiological characteristics of kidney stones in patients with urolithiasis. Innovative medicine of Kuban. 2024;9(2):129-134. (in Russ)
7. Perepanova T.S., Golovanov S.A., Merinov D.S. and others. Metaphylaxis of infectious kidney stones after percutaneous nephrolithotripsy. Clinical microbiology and antimicrobial chemotherapy. 2018; 20(1):36-37. (in Russ)
8. Prosyannikov M.Yu., Anokhin N.V., Golovanov S.A. [et al.] The effect of calciuria on the genesis of urinary stones of various chemical composition. Experimental and clinical urology. 2019;4:100-103. (in Russ)
9. Prosyannikov M.Yu., Anokhin N.V., Golovanov S.A. [et al.] The occurrence of urinary stones of different chemical composition depending on the level of uricuria. Urological bulletin. 2020;10(2):107-113. (in Russ)
10. Prosyannikov M.Yu., Shaderkin I.A., Konstantinova O.V. [et al.] Remote monitoring of indicators of general urine analysis in the treatment of patients with uric acid urolithiasis with citrate mixtures. Urology. 2019;3:54-59. (in Russ)
11. Prosyannikov M.Yu., Yanenko E.K., Yarovoy S.K. [et al.] Pathogenetic features of urolithiasis on the background of type II diabetes mellitus. Urology. 2019;1:28-34. (in Russ)
12. Saenko V.S., Pesegov S.V., Frolova E.A. The role of drinking and dietary factors in effective litholysis and metaphylaxis of uric acid nephrolithiasis. Urology. 2019;2:113-118. (in Russ)