

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2024-17-1-24-34>

Искусственный интеллект для персонализированного подхода к перкутанной нефролитотрипсии

КЛИНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

К.К. Шамхалова¹, Д.С. Меринов¹, А.В. Артемов¹, Ш.Ш. Гурбанов¹, Р.Р. Инамов¹, О.И. Аполихин¹, А.Д. Каприн^{2,3,4}

¹ НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; д. 51, 3 Парковая ул., Москва, 105425, Россия

² ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; д. 4, ул. Королева, Калужская область, г. Обнинск, 249036, Россия

³ МНИОИ им. П. А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; д. 3, 2-ой Боткинский проезд, Москва, 125284, Россия

⁴ Российский университет дружбы народов; д. 6, ул. Миклухо-Маклая, Москва, 117198, Россия

Контакт: Шамхалова Камилла Керимовна, docskituyura@gmail.com

Аннотация:

Введение. В последние годы, все больше появляется исследований по созданию искусственного интеллекта (ИИ) для помощи в диагностике и определения тактики лечения пациентов в разных областях медицины. Применение алгоритмов позволяет сократить время на обработку больших объемов информации и дать «второе мнение» специалисту при сложных и нестандартных клинических случаях. С целью повышения эффективности перкутанной нефролитотрипсии нами был создан алгоритм ИИ для создания персонализированного подхода в хирургическом лечении нефролитиаза.

Цель. Разработать универсальный инструмент для прогнозирования наиболее оптимальной тактики перкутанной нефролитотрипсии в зависимости от клинического случая.

Материалы и методы. Общее количество пациентов, получавших лечение в НИИ урологии и интервенционной радиологии имени Н.А. Лопаткина – филиале ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России и принявших участие в исследовании составило 1000 человек, мужчин – 419 (41,9%), женщин – 581 (58,1%) человек. Возраст пациентов, входящих в исследование, колебался от 18 до 88 лет (52,3±13,47).

Разделение на обучающую и контрольную выборку проводилось в зависимости от целевой переменной для получения наиболее точного результата. Максимальное различие в выборках составило 600 и 400 пациентов (60% и 40%), минимальное 800 и 200 (80% и 20%).

Обработка данных проводилась с применением программ IBM SPSS Statistics и Modeler методом моделирования нейронных сетей.

Результаты. Точность предсказания на обучающей и контрольной группе по выбору размера нефроскопа составила 82,2%, по необходимости интраоперационной установки стента – 93,9%, по потребности в применении уретероскопии или контактной уретеролитотрипсии – 98,5%, по количеству доступов – 92,6%, по доступу через верхнюю, среднюю и нижнюю группу чашечек – 95%, 91,2% и 91,2% соответственно. Наличие резидуальных конкрементов алгоритм позволяет спрогнозировать с точностью 84,1%, длительность оперативного вмешательства – 87,3%.

Количество тестовых наблюдений составило 30. Алгоритм продемонстрировал высокую точность прогноза (от 73,8% до 94,5%) тактики хирургического вмешательства при сложных клинических случаях.

Заключение. Результаты применения алгоритма для персонализированного прогноза при хирургическом лечении нефролитиаза показали высокую точность и эффективность. Дальнейшее развитие технологии по созданию алгоритмов по каждой из нозологий и хирургическим вмешательствам, позволит сократить время анализа данных лечащим врачом, даст «второе мнение» молодым специалистам и стандартизирует подход к лечению в редко встречаемых и сложных клинических случаях.

Ключевые слова: мочекаменная болезнь; перкутанная нефролитотрипсия; искусственный интеллект.

Для цитирования: Шамхалова К.К., Меринов Д.С., Артемов А.В., Гурбанов Ш.Ш., Инамов Р.Р., Аполихин О.И., Каприн А.Д. Искусственный интеллект для персонализированного подхода к перкутанной нефролитотрипсии. Экспериментальная и клиническая урология 2024;17(1):24-34; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2024-17-1-24-34>

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2024-17-1-24-34>

Artificial intelligence for a personalized approach to percutaneous nephrolithotripsy

CLINICAL STUDY

К.К. Shchamkhalova¹, D.S. Merinov¹, A.V. Artemov¹, Sh.Sh. Gurbanov¹, R.R. Inamov¹, O.I. Apolikhin¹, A.D. Kaprin^{2,3,4}

¹ N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology - branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; 51, 3-rd Parkovaya street, Moscow, 105425, Russia

² National Medical Research Centre of Radiology of Ministry of health of Russian Federation; 4, st. Koroleva, Kaluga region, Obninsk, 249036, Russia

³ P.A. Herzen Moscow Oncology Research Institute - branch of the National Medical Research Radiological Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation; 3, 2nd Botkinskiy proezd, Moscow, 125284, Russia

⁴ RUDN University; 6, st. Miklukho-Maklaya, Moscow, 117198, Russia

Contacts: Kamilla K. Shchamkhalova, dockimyura@gmail.com

Summary:

Introduction. In recent years, there has been more and more research on the creation of artificial intelligence (AI) to help diagnose and treat patients in various fields of medicine. The use of algorithms allows us to reduce the time for processing large volumes of information and give a «second opinion» to a specialist in complex and non-standard clinical cases. In order to increase the effectiveness of percutaneous nephrolithotripsy, we have created an AI algorithm to personalize approach in the surgical treatment of nephrolithiasis.

Purpose. To develop a universal tool for predicting the most optimal tactics of percutaneous nephrolithotripsy depending on the clinical case.

Materials and methods. The total number of patients treated at N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology and those who took part in the study amounted to 1000 people. The number of men was 419 (41.9%), women 581 (58.1%). The age of patients included in the studies ranged from 18 to 88 years (52.3 ± 13.47).

The division into Training and Holdout partitions varied depending on the target variable to obtain the most accurate result. The maximum difference in the samples was 600n and 400n (60% and 40%), the minimum 800n and 200n (80% and 20%).

Data processing was carried out using IBM SPSS Statistics and Modeler programs using the neural network modeling method.

Results. The accuracy of prediction for the choice of nephroscope size was 82.2%, requirement for intraoperative stent placement 93.9%, requirement for ureteroscopy or contact ureterolithotripsy 98.5%. The accuracy of the forecast for the number of puncture accesses was 92.6%, for access through the upper group 95%, for access through the middle group 91.2%, for access through the lower group 91.2%. The algorithm allows us to predict the presence of residual stones with an accuracy of 84.1%, the duration of surgical intervention is 87.3%. The number of test observations was 30. The algorithm demonstrated high accuracy of prediction (from 73.8% to 94.5%) of surgical tactics in complex clinical cases.

Conclusion. The results of using the algorithm for personalized prognosis in the surgical treatment of nephrolithiasis showed high accuracy and efficiency. Further development of technology to create algorithms for each nosology and surgical interventions will reduce the time of data analysis by the attending physician, provide a «second opinion» to young specialists and standardize the approach to treatment in rare and complex clinical cases.

Key words: urolithiasis; percutaneous nephrolithotripsy; artificial intelligence.

For citation: Shchamkhalova K.K., Merinov D.S., Artemov A.V., Gurbanov Sh.Sh., Inamov R.R., Apolikhin O.I., Kaprin A.D. Artificial intelligence for a personalized approach to percutaneous nephrolithotripsy. *Experimental and Clinical Urology* 2024;17(1):24-34; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2024-17-1-24-34>

ВВЕДЕНИЕ

Перкутанная нефролитотрипсия (ПНЛ) является наиболее распространенной, доступной и применяемой в клинической работе операцией для лечения нефролитиаза [1]

Важный этап для улучшения результатов ПНЛ — тщательно спланированная тактика вмешательства, которая напрямую зависит от опыта и навыков хирурга. Основой планирования становится выбор объема хирургического вмешательства, размер инструмента, количество и локализация доступов. Выбор осуществляется методом анализа клинических показателей пациента, особенностей течения заболевания, строения верхних мочевых путей (ВМП) и нефролитометрических показателей [2-4].

Одним из главных ограничений для обработки больших объемов информации специалистом является время [5]. В последние годы было предложено множество технологических инноваций для улучшения результатов хирургических вмешательств и снижения послеоперационных осложнений. Важным трендом на сегодняшний день становится обработка больших объемов данных с применением машинного обучения (МО), объективизация принятия решений [6-8].

Использование искусственного интеллекта (ИИ) в медицине показало широкий спектр возможностей для увеличения эффективности принятия решений в клинической работе [9, 10].

ИИ позволяет оптимизировать процессы обработки информации, уменьшая количество времени, затрачиваемого на получение искомого решения, на 88% [11]. По данным исследований, преобладающее большинство специалистов испытывают доверие к ИИ и считают полезным использование алгоритмов в качестве инструмента принятия решений. Данный подход позволяет увеличить точность и ускорить процесс выполнения клинической работы [12].

С целью прогнозирования решений для персонализированного подхода в лечении нефролитиаза с применением ПНЛ нами была разработана и предложена модель алгоритма для применения в клинической работе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Общее количество пациентов, получавших лечение в НИИ урологии и интервенционной радиологии имени Н.А. Лопаткина – филиале ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России и принявших участие в исследовании, составило 1000 человек, мужчин было 419 (41,9%), женщин – 581 (58,1%). Возраст пациентов, входящих в исследование, колебался от 18 до 88 лет ($52,3 \pm 13,47$).

Критерии включения:

- возраст пациента старше 18 лет;
- ПНЛ как первое хирургическое вмешательство в текущую госпитализацию; ■

- нормальные показатели свертывающей системы крови;
- отсутствие злокачественных новообразований почки на стороне операции.

Критерии исключения:

- острый воспалительный процесс любой локализации;
- отсутствие сохранности почечной паренхимы (истончение паренхимы до размеров менее 1 см);
- другие сопутствующие заболевания в стадии декомпенсации.

Все пациенты были обследованы следующим способом: собран анамнез, проведено ультразвуковое исследование (УЗИ), выполнена урография, компьютерная томография (КТ) мочевыводящих путей с определением размера конкрементов и плотности по НУ, взят биохимический анализ крови (креатинин, мочевины), общий анализ крови, посев мочи. Все пациенты были госпитализированы в плановом порядке.

Интраоперационно пациенту однократно проводилась антибактериальная терапия по результатам по-

сева мочи; при развитии пиелонефрита лечение продолжалось до купирования инфекционно-воспалительного процесса.

Контрольное обследование на наличие резидуальных конкрементов проводилось на 2-3 сутки после операции и включало в себя УЗИ и КТ мочевыводящих путей. Резидуальные конкременты расценивались как клинически значимые при размере более 4 мм.

Все переменные в наблюдениях поделены на 2 группы.

Первую группу представляют данные входных переменных – это информация, которую мы получили о пациентах до начала лечения. К ним отнесли информацию о сопутствующих заболеваниях, конституционных особенностях, данные КТ и лабораторные анализы.

Во вторую группу вошли данные переменных, полученные в процессе лечения — метод хирургического вмешательства, количество доступов и т.д. (табл. 1). Вторая группа переменных будет персонализировано предсказываться алгоритмом МО для упрощения принятия решения лечащим врачом.

Таблица 1. Перечень переменных

Table 1. List of variables

№	Показатель/Value	№	Показатель/Value
1	Пол/Gender	1	Размер нефроскопа/Size of nephroscope
2	Возраст/Age	2	Интраоперационная установка стента Intraoperative stent placement
3	ИМТ/BMI	3	Одномоментная уретероскопия/КУЛТ /Simultaneous ureteroscopy/ ureterolithotripsy
4	ССЗ/Cardiovascular diseases	4	Количество доступов/Number of accesses
5	Гипертоническая болезнь/Hypertension	5	Доступ через верхнюю группу/Access through the upper pole
6	Сахарный диабет/Diabetes mellitus	6	Доступ через среднюю группу/Access through the middle calyx
7	ХБП/CKD	7	Доступ через нижнюю группу/Access through the lower calyx
8	Предварительное дренирование/Pre-drainage	8	Длительность операции (в мин.)/Operative time (min.)
9	Рецидивирующий характер заболевания/ Recurrence of the disease	9	Наличие резидуальных конкрементов/ Presence of Residual Stones
10	Предыдущее лечение/Previous treatment		
11	Посев мочи/Urine culture		
12	Концентрация креатинина/Creatinine concentration		
13	Концентрация мочевины/Urea concentration		
14	Лейкоциты в ОАК/Leukocytes in the CBC		
15	Гидронефроз/Hydronephrosis		
16	Кисты почки/Kidney cysts		
17	Нарушение уродинамики (в мес.)/Violation of urodynamics		
18	Аномалия ВМП/Anomaly of the upper urinary tract		
19	Стриктура мочеточника/Ureteral stricture		
20	Визуализация конкремента на урографии/ Visualization of the stone on X-ray		
21	Плотность (по НУ)/Density (according to HU)		
22	Размер конкремента/Stone size		
23	Локализация/Localization		

Разделение на обучающую и контрольную выборку отличалось в зависимости от целевой переменной для получения наиболее точного результата. Максимальное различие в выборках составило 600 и 400 случаев (пациентов) (60% и 40%), минимальное – 800 и 200 (80% и 20%). Для итоговой проверки алгоритма (тестовая выборка) было добавлено 30 тестовых клинических случаев (или 3% от общей выборки, используемой для разработки алгоритма ИИ). Обучающая выборка содержит записи данных, используемые для обучения модели. Контрольная выборка представляет собой независимый набор наблюдений, применяемый для проверки качества модели. Тестовые наблюдения были добавлены после создания алгоритма, для проверки качества и удобства применения модели в клинической работе.

При предсказании тестовых клинических случаев, использовалось поэтапное предсказание (где для создания последовательности лечения, алгоритм опирается на предсказанные раннее значения).

В первую группу переменных вошли данные по 23 показателям: пол, возраст, индекс массы тела (ИМТ), наличие сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), стадия гипертонии, сахарный диабет (СД), хроническая болезнь почек (ХБП), наличие предварительного дренирования чашечно-лоханочной системы (ЧЛС), рецидивирующий характер мочекаменной болезни, наличие и характер предыдущего лечения, креатинин и мочевины в биохимическом (БХ) анализе крови до операции, лейкоциты в общем анализе крови (ОАК), бактериологические исследования мочи, наличие и длительность расширения ЧЛС, наличие и размер кист почек на стороне операции, патологии верхних мочевых путей (ВМП) и мочеточника, визуализация конкремента на урографии, плотность, размер и локализация конкремента.

Ко второй группе переменных (прогнозируемых) отнесли 9 показателей: размер нефроскопа, потребность в одномоментной уретероскопии/контактной уретеролитотрипсии (КУЛТ), интраоперационную установку стента, количество и локализацию доступов, длительность операции, наличие резидуальных конкрементов (табл. 1).

Адекватность распределения и достоверность различий выходных результатов проверены с использованием критериев Пирсона и критерия Стьюдента.

Достоверными признавались различия при значении p не менее 0,05. Связь между данными оценивалась с помощью методики парной корреляции и вычислением r – коэффициента. При значении $r > 0,7$ сопряжение признавалось сильным, при значении r от 0,5 до 0,7 корреляция была средней и при значении коэффициента $r < 0,5$ связь признавалась слабой. Затем определялись значения важности переменных. Сумма важности предикторов равна 1,0, а значения яв-

ляются относительными. Для создания алгоритма использовались только предикторы с сильной связью, далее определялась их важность для прогнозирования. Важность предикторов высчитывалась в контрольной выборке и не связана с точностью модели. Обработка данных проводилась с применением программ IBM SPSS Statistics и Modeler методом моделирования нейронных сетей (многослойного перцептрона).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первый изучаемый блок переменных включал в себе информацию о планировании объема хирургического вмешательства.

Нами была проанализирована взаимосвязь входных переменных с размером применяемого нефроскопа, потребностью в одномоментной уретероскопии/КУЛТ или в интраоперационной установке стента.

Выбор размера нефроскопа не только определяет продолжительность оперативного вмешательства, но и оказывает влияние на послеоперационные осложнения, такие как геморрагические или инфекционно-воспалительные [13, 14]. В исследовании использовались 2 нефроскопа: стандартный (с тубусом диаметром 24 или 26 СН) и/или миниатюризированный (с тубусом 15 или 16,5 СН). Точность прогноза составила 82,2%, AUC – 0,838. При ранжировании с применением критерия Пирсона наиболее значимыми предикторами для построения модели по предсказанию оптимального размера нефроскопа для применения стали следующие показатели: размер камня – 0,21, локализация камня – 0,15, ССЗ и лейкоциты ОАК – 0,10, ИМТ – 0,09, визуализация конкремента на урографии – 0,09, предварительное дренирование – 0,07, нарушение уродинамики – 0,06, гипертония – 0,05 и гидронефроз – 0,04. При использовании алгоритма на тестовой выборке, точность составила 73,8%/AUC 0,772.

Важным аспектом планирования хирургического вмешательства может стать необходимость подготовки нужных расходных материалов. **Интраоперационная установка стента** будет пролонгировать длительность вмешательства и при длительном ношении внутреннего стента (более 3 дней) приведет к необходимости повторного вмешательства для удаления/замены стента. Также внутренние стенты могут способствовать развитию пиелонефрита в послеоперационном периоде [15, 16]. Все интраоперационные установки стентов проводились антеградно через тубус нефроскопа. Точность модели составила 93,3%, AUC 0,93. Были выявлены Наиболее важные предикторы для построения модели: наличие стриктуры мочеточника – 0,20, наличие и характер предыдущего лечения – 0,13, локализация конкремента – 0,13, уровень мочевины – 0,12 и аномалии ВМП – 0,12, визуализация конкремента на урографии – 0,09, предварительное

дренирование – 0,09, гидронефроз – 0,05, размер камня – 0,04 и результаты посева мочи – 0,03. На тестовых наблюдениях точность составила 84%, AUC 0,768.

Применение **сочетанных хирургических вмешательств**, всегда сопряжено с удлинением времени операции и увеличением рисков послеоперационных осложнений. КУЛТ применялась не только при камнях мочеточника, но и при мигрировании фрагментов конкремента во время выполнения ПНЛ. Также при выявлении стриктуры мочеточника и при невозможности установки первым этапом мочеточникового стента могла быть выполнена уретероскопия для визуализации протяженности, проходимости и состояния слизистой в зоне стриктуры. Точность модели для принятия решения в проведении одномоментной КУЛТ/уретероскопии составила 98,5, AUC 0,736. При построении модели наиболее важными переменными для алгоритма были определены: стриктура мочеточника – 0,12, предварительное дренирование – 0,09, длительность нарушения уродинамики – 0,08, предыдущее лечение – 0,08 и локализация конкремента –

0,08, гипертония – 0,06, ССЗ – 0,06, лейкоциты в ОАК – 0,05, размер камня – 0,05 и уровень креатинина – 0,05. Тестовые наблюдения при анализе алгоритмом показали высокую точность ИИ, и составили 94,5%, AUC 0,776 (табл. 2).

Помимо определения методов оперативного вмешательства, хирургу необходимо знать **количество и расположение доступов** в ЧЛС. Наиболее эффективным по точности и удобству созданию пункционных доступов является одномоментная поочередная установка струн-проводников по чашечкам предполагаемого интереса через пункционную иглу до момента первого бужирования. Доступы совершаются под УЗ- и рентген-контролем. Если в ходе операции потребуются дополнительные доступы, УЗ-визуализация может ухудшиться вследствие развития гематомы. Точность прогноза по количеству доступов составила 92,6%, AUC 0,824. Заданные значения были от 1-3 (больше доступов среди исследуемых клинических случаев не наблюдалось). Наибольший вес имели предикторы: мочевины – 0,28, размер камня – 0,16, лока-

Таблица 2. Важность предикторов при предсказании объема хирургического вмешательства.

Table 2. The importance of signs in predicting the extent of surgical intervention

Показатель/ Indicators	Размер нефроскопа Size of nephroscope	Интраоперационная установка стента Intraoperative stent placement	Одномоментная уретероскопия/КУЛТ Simultaneous ureteroscopy/ureterolithotripsy
Точность/AUC Accuracy/AUC	82,2%/ 0,838	93,9%/0,930	98,5%/0,736
Предикторы Predictor	Важность предикторов. Predictor importance		
Аномалии ВМП Anomaly of the upper urinary tract	–	0,12	–
Гидронефроз Hydronephrosis	0,04	0,05	–
Гипертония Hypertension	0,05	–	0,06
Длительность нарушения уродинамики Violation of urodynamics	0,06	–	0,08
ИМТ BMI	0,09	–	–
Лейкоциты ОАК Leukocytes in the CBC	0,10	–	0,05
Локализация конкремента Localization	0,15	0,13	0,07
Стриктура мочеточника Ureteral stricture	–	0,20	0,12
Посев мочи Urine culture	–	0,03	–
Предварительное дренирование Pre-drainage	0,07	0,09	0,09
Предыдущее лечение Previous treatment	–	0,13	0,08
Размер камня Stone size	0,21	0,04	0,05
Визуализация конкремента на урографии. Visualization of the stone on X-ray	0,09	0,09	–
ССП Cardiovascular pathology	0,10	–	0,06
Концентрация креатинина Creatinine concentration	–	–	0,05
Концентрация мочевины Urea concentration	–	0,12	–

лизация – 0,14, возраст – 0,12, гидронефроз – 0,08, ХБП – 0,08, результат посева мочи – 0,06, размер нефроскопа – 0,05 и пол – 0,04. При применении тестовых исследований на алгоритме, точность составила 90,9%, AUC 0,934.

Для расчета локализации доступа ЧЛС условно была поделена на верхнюю, среднюю и нижнюю группу чашечек. Доступ через верхнюю группу сопряжен с наибольшим количеством трудностей для хирурга. Это и повреждение плевральной полости, и развитие кровотечения, и большее угловое отклонение тубусом при работе в ЧЛС, которое, растягивая ткань почки, может привести к множеству серьезных осложнений [17, 18]. Помимо этого, при высоком, межреберном доступе увеличивается и болевой симптом в послеоперационном периоде в сравнении с доступами через среднюю или нижнюю группу чашечек [19]. Несмотря на трудности и риски, часто верхняя локализация доступа бы-

вает необходима для конкретного клинического случая. В такой ситуации для хирурга важно еще до начала операции понимать оправданность его решений. Для верхней группы точность предсказания составила 95%, AUC 0,933. Важными предикторами были выявлены: аномалии ВМП – 0,25, локализация конкремента – 0,23, количество доступов – 0,17, патологии мочеточника – 0,11, размер камня – 0,07, гипертония – 0,06, гидронефроз – 0,03, ожирение – 0,03. При прогнозировании создания пункционного доступа через верхнюю группу чашечек в тестовой группе, точность прогноза составила 88,0%, AUC 0,856.

Доступ через среднюю группу чашечек часто применяется при невозможности нефроскопии средней группы из классического доступа через нижнюю группу чашечек. В силу анатомии ЧЛС нефроскопию верхней группы чашечек из доступа средней группы сделать практически во всех случаях невозможно, ■

Таблица 3. Важность предикторов при предсказании количества и локализации доступов

Table 3. The importance of signs in predicting the number and location of accesses

Показатель/ Indicators	Количество доступов Number of accesses	Верхняя группа Access through the middle calyx	Средняя группа Simultaneous ureteroscopy/ ureterolithotripsy	Нижняя группа Access through the lower calyx
Точность/AUC Accuracy/AUC	92,6 % / 0,824	95%/0,933	91,2%/0,834	91,2%/0,825
Предикторы Predictor	Важность предикторов. Predictor importance			
Аномалии ВМП Anomaly of the upper urinary tract	–	0,25	–	0,38
Возраст Age	0,12	–	–	–
Гидронефроз Hydronephrosis	0,08	0,03	0,06	–
Гипертония Hypertension	–	0,06	–	–
Интраоперационная установка стента Intraoperative stent placement	–	–	0,04	0,02
Количество доступов Number of accesses	–	0,17	0,31	0,05
Лейкоциты ОАК Leukocytes in the CBC	–	–	0,10	0,13
Локализация конкремента Localization	0,14	0,23	0,14	0,29
ИМТ BMI	–	0,03	–	–
Стриктура мочеточника Ureteral stricture	–	0,11	–	–
Пол Gender	0,04	–	–	–
Посев мочи Urine culture	0,06	0,02	0,02	0,02
Предварительное дренирование Pre-drainage	–	–	0,06	0,08
Предыдущее лечение Previous treatment	–	–	0,13	–
Размер конкремента Stone size	0,14	0,07	–	–
Размер нефроскопа Size of nephroscope	0,05	0,02	–	0,02
Концентрация креатинина Creatinine concentration	–	–	0,07	–
Концентрация мочевины Urea concentration	0,28	–	–	–
ХБП CKD	0,08	–	0,07	–

но немаловажным преимуществом является хороший обзор на лоханочно-мочеточниковый сегмент и удобный угол для антеградной установки стента. Точность предсказания для средней группы чашечек составила 91,2%, AUC 0,834. Предикторы, имевшие наибольший вес при построении модели и относящиеся к категории «важные»: количество доступов – 0,31, локализация – 0,14, предыдущее лечение – 0,13, лейкоциты в ОАК – 0,10, ХБП – 0,07, концентрация креатинина – 0,06, гидронефроз – 0,06, предварительное дренирование – 0,06, интраоперационная установка стента – 0,04 и посев мочи – 0,02. Точность прогноза для тестовой выборки составила 86,1%, AUC 0,731.

Наиболее безопасным доступом является доступ через нижнюю группу чашечек, точность прогноза для данной локализации составила 91,2 %, AUC 0,825. При создании алгоритма, было выявлено, что к наиболее важным предикторам относятся: аномалия ВМП – 0,38, локализация камня – 0,29, лейкоциты ОАК – 0,08, предварительное дренирование – 0,05, количество доступов – 0,05, размер нефроскопа – 0,02, посев мочи – 0,02 и интраоперационная установка стента – 0,02 (табл. 3). Точность прогноза для тестовых наблюдений составила 82,46%, AUC 0,716

Длительность оперативного вмешательства, напрямую влияющая на вероятность развития осложнений, может быть предсказана с точностью 87,3%. Наиболее важными предикторами оказались локализация, размер камня и количество доступов. Их значимость составила по 0,20. Менее значимыми переменными оказались: верхняя группа с весом 0,06, размер нефроскопа – 0,06, средняя группа – 0,05, мочевины – 0,04, рецидивность заболевания – 0,03, предыдущее лечение – 0,03 и гидронефроз – 0,03. Применение алгоритма на тестовой группе показало точность 73,8%.

Прежде чем проводить исследования и разрабатывать алгоритм принятия решения, мы должны быть уверены, что решения, принятые в исследуемых наблюдениях, были правильными или хотя бы максимально приближенными к идеальным благодаря опыту и навыку врачей, проводивших нефролитотрипсию.

Эффективность ПНЛ можно выразить в цифрах, отсутствие резидуальных конкрементов («stone free») является прямым показателем качества проведенной операции. Не всегда при вмешательстве удается достичь «stone free» результата в силу кровотечения, или продолжительности вмешательства, или иных обстоятельств.

Вероятность **наличия резидуальных конкрементов** после оперативного вмешательства определяет потребность в дополнительных вмешательствах и длительность госпитализации пациента. На наличие резидуальных конкрементов влияет множество факторов. Помимо локализации конкремента, важнейшей составляющей становится опыт хирурга при выполне-

нии ПНЛ. Выборка наблюдений в нашем клиническом исследовании не является типичной для большинства стационаров, так если рассматривать локализацию конкремента наиболее распространенной становится локализация в лоханке (222 случаев), а на втором месте – коралловидные конкременты стадии К4 (127 случаев). В исследовании для коралловидных камней и камней с локализацией в разных чашечках применялись отдельные метки. Соответственно, учитывая высокий процент пациентов с выраженной каменной нагрузкой, из 1000 прооперированных пациентов резидуальные конкременты наблюдались только у 168 больных в ЧЛС и у 16 в мочеточнике, что отражает большой опыт хирургов в исследуемых наблюдениях.

Прогноз резидуальных конкрементов осуществлялся как на наличие резидуальных камней в ЧЛС, так и миграцию фрагментов в мочеточник. Точность составила 84,1%, AUC 0,712. Переменные, имевшие наибольший вес связей и ранжированные алгоритмом как важные, стали сл. показателями: длительность операции – 0,21, размер камня – 0,17, локализация – 0,16, гидронефроз – 0,08, ИМТ – 0,07, результат посева мочи – 0,07, длительность нарушения уродинамики – 0,05, предварительное дренирование – 0,05, количество доступов – 0,05 и рецидивность заболевания – 0,05 (табл. 4). При прогнозировании в тестовой выборке, точность составила 82,6%, AUC 0,659.

Таблица 4. Важность предикторов при предсказании наличия резидуальных камней

Table 4. The importance of signs in predicting the presence of residual stones

Показатель/ Indicators	Резидуальные конкременты Residual fragments
Точность/AUC Accuracy/AUC	84,1%/0,712
Предикторы Predictor	Важность предикторов Predictor importance
Длительность операции Operative time	0,21
Размер конкремента Stone size	0,17
Локализация конкремента Localization	0,16
Гидронефроз Hydronephrosis	0,08
ИМТ BMI	0,07
Посев мочи Urine culture	0,07
Нарушение уродинамики Violation of urodynamics	0,05
Предварительное дренирование Pre-drainage	0,05
Количество доступов Number of accesses	0,05
Рецидивность заболевания Recurrence of the disease	0,05

В тестовых наблюдениях информация о данных переменных максимально приближена к клиническому

применению алгоритма. Предсказанная переменная включалась в набор данных и в последующем применялась для прогноза дальнейших переменных. Предсказание происходило поэтапно, каждый раз с добавлением «новой» информации.

Клинический пример

Пациентка Н., 54 года. Диагноз: Аномалия ВМП: подковообразная почка, мочекаменная болезнь (МКБ), камень лоханки правой половины подковообразной почки. Из анамнеза: длительно страдает МКБ, в 2013 году выполнена ПНЛ справа, в 2017 – КУЛТ справа, выявлена девиация и стриктура в/3 правого мочеточника.

Данные КТ: Размер конкремента 2,5 x 1,5 см, плотность 1100 НУ. При в/в контрастировании определяется пиелоэктазия, девиация и непрямоугольная стриктура в/3 правого мочеточника.

При сравнении клинического случая с прогнозом алгоритма отмечается высокий уровень точности. Выбор размера нефроскопа, потребность в одномоментной уретероскопии, установки стента, локализации и количества доступа, наличие резидуальных камней полностью совпало с клиническим случаем. Все переменные были предсказаны верно, кроме длительности оперативного вмешательства, где алгоритм спрогнозировал продолжительность 71,5 минут, но само хирургическое вмешательство в общей сложности заняло 80 минут (табл.5).

ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на высокие показатели эффективности, точности и AUC, при использовании в клинической работе применение ИИ все еще имеет свои ограничения.

Основными ограничениями остается недостаточное техническое оснащение и недопонимание целей применения алгоритмов МО.

В работах, посвященных разработке и применению ИИ для лечения нефролитиаза, существует разный подход к созданию алгоритма персонализированного лечения. Часть исследований основной целью ставит определение минералогического состава конкремента (используя только КТ или биохимический анализ мочи), в то время как другие прогнозируют эффективность выполнения ПНЛ [20-24].

Последние годы отмечается возросший интерес научного сообщества к применению ИИ в медицине, вместе с тем участились и ошибки в разработке дизайна исследований. Преобладающее количество ошибок – использование упрощенных методов МО и недостаточный объем выборки [25, 26].

В крупных исследованиях, посвященных персонализированному подходу при лечении больных МКБ, обычно рассматриваются разные методы лечения (включая дистанционную литотрипсию (ДЛТ), КУЛТ, пиелотомия, ретроградную интратанальную хирургию (РИРХ)), где в каждой подгруппе количество наблюдений составляет не более нескольких сотен [27]. Этот малый объем выборки приводит к ошибкам в вычислениях и в последствии к ложным результатам и прогнозам.

Одним из ключевых и наиболее сложно решаемых вопросов в МО остается необходимость в больших объемах данных, что является проблематичным при разработке алгоритмов для редких болезней или технически сложных операций. Расчет адекватного объема выборки остается актуальной проблемой [28]. Для преодоления этой технической трудности, в зарубежных исследованиях появилась тенденция к мультицентровым исследованиям с объемом выборки составляющей до 10 000 наблюдений [29-31].

Таблица 5. Пример прогнозирования для хирургического вмешательства пациента с аномалией развития по типу подковообразной почки

Table 5. Example of prediction for surgical intervention of a patient with a developmental anomaly such as a horseshoe kidney

Предиктор Predictor	Точность Accuracy/AUC	Решение нейросети Neural network solution	Клинический случай Clinical case
Размер нефроскопа Size of nephroscope	0,774	ПНЛ/PCNL	ПНЛ/PCNL
Одномоментная уретероскопия/КУЛТ Simultaneous ureteroscopy/ ureterolithotripsy	0,995	Нет/No	Нет/No
Интраоперационная установка стента Intraoperative stent placement	0,589	Да/Yes	Да/Yes
Количество доступов Number of accesses	0,973	1	1
Доступ через верхнюю группу Access through the upper pole	0,809	Да/Yes	Да/Yes
Доступ через среднюю группу Access through the middle calyx	0,934	Нет/No	Нет/No
Доступ через нижнюю группу Access through the lower calyx	1,0	Нет/No	Нет/No
Длительность операции (в мин) Operative time (min)	0,758	71,5	80
Наличие резидуальных конкрементов Presence of Residual Stones	0,969	Нет/No	Нет/No

Несмотря на многочисленные упоминания в научных работах о важности расчета адекватного объема выборки, в данном исследовании мы выявили закономерности, которые важно учитывать при дальнейших работах по созданию ИИ в медицине.

Так, например, в выборке при одиночных камнях лоханки доступ через нижнюю группу чашечек составлял 89,6% (200 случаев).

При этом при некоторых аномалиях развития ВМП, в частности, подковообразных почках, единственной чашечкой для создания безопасного доступа, согласно данным литературы, является верхняя группа [32, 33].

Всего с аномалией ВМП по типу подковообразной почки в исследовании наблюдалось 20 больных, при этом, доступ через верхнюю группу был выполнен у 17 (включая и сочетанные доступы). Поскольку не менее важным для принятия решения о проекции доступа является локализация конкремента, стоит отметить, что одиночный конкремент лоханки, при подковообразной почке составляла всего 6 случаев.

Но при прогнозировании алгоритмом чашечки доступа наиболее важными предикторами при расчете доступа через нижнюю или через верхнюю группу является аномалия развития ВМП.

Фактически при создании модели важен не столько объем клинических данных, сколько закономерность «исключений» из правил, позволяющих при появлении «аномалий выборки» или «редкого клинического случая» грамотно спрогнозировать персонализированный подход.

Если рассматривать вес переменных для прогнозирования количества доступов, обращает на себя внимание высокая связь с концентрацией мочевины в крови и абсолютное отсутствие связи с концентрацией креатинина. Оба показателя связаны с экскреторной

функцией почки и имеют отношение к каменной нагрузке ЧЛС. При рассмотрении графика зависимости становится видно, что среднее значение концентрации креатинина для трех доступов лишь на 1/5 отличается от остальных, а для уровня мочевины эта разница значительна, и в среднем отличается в 2,5 раза (рис. 1).

В зависимости от характера предыдущих вмешательств, изменяется и прогноз наиболее оптимальной локализации доступа. Так наличие у пациента в анамнезе ПНЛ на стороне операции в количестве 1 и более раз или пиелолитотомии увеличивает, по данным выстроенных алгоритмом, вероятность наиболее оптимального доступа через среднюю группу чашечек.

При исследовании взаимосвязей нами была подтверждена зависимость применяемого нефроскопа от размера конкремента, влияние потребности в проведении уретероскопии от стриктуры мочеточника (всего таких случаев было выявлено 17 на 1000 наблюдений), локализации доступов от расположения конкремента и аномалии ВМП, наличие резидуальных камней от длительности проведения хирургического вмешательства.

Также нами была выявлена зависимость пролонгирования оперативного вмешательства не только от размера и локализации конкремента, но и от локализации доступа, например, при доступе через верхнюю группу чашечек.

Вышеотмеченные наблюдения не являлись целью исследования, но отражение данных фактов в работе может стать подтверждением адекватности выборки и точности алгоритма.

При тестировании в клинической работе ИИ демонстрирует вариативность и правильность принятия решений, сопоставимую с клиническим мышлением опытного в данной области врача. Помимо этого, большой объем выборки и широкий спектр представленных в базе клинических случаев позволяет использовать прогностическую модель при самых неоднозначных и редких медицинских случаях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты применения алгоритма для персонализированного прогноза при хирургическом лечении нефролитиаза показали высокую точность и эффективность. Несмотря на удобство использования алгоритма в клинической работе, применение ИИ все еще имеет ограничения. Так, например, одним из главных недостатков применения данной разработки, остается ограниченность методов хирургического лечения в принятии решений (в алгоритме прогноз совершался только для ПНЛ). Одним из вариантов решения данной задачи может стать разработка дополнительных алгоритмов для персонализированного прогноза альтернативных методов хирургического вмешательства,

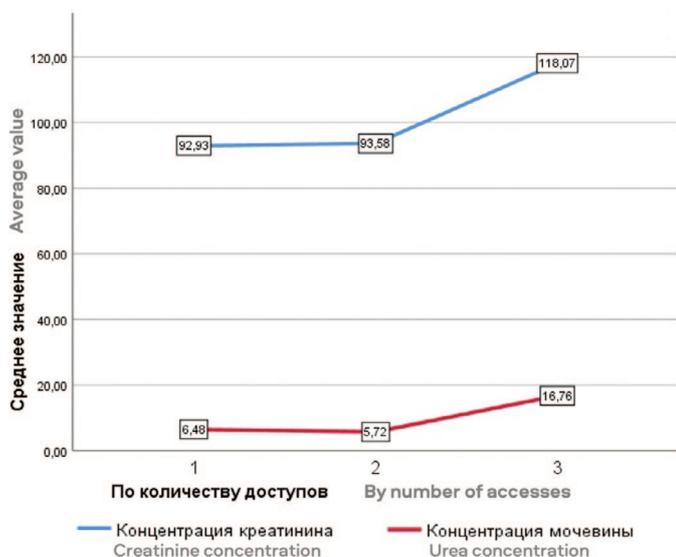


Рис. 1. График взаимосвязи среднего значения креатинина и мочевины в зависимости от количества доступов
Fig. 1. Graph of the relationship between the average values of creatinine and urea depending on the number of accesses

таких как РИРХ или ДЛТ. При объединении данных станет возможным выбор наиболее оптимального и наименее инвазивного метода хирургического лечения, основываясь на результатах прогноза ИИ.

Данные разработки позволят сократить клиническим врачам время на прогнозирование лечения, оптимизировать работу стационаров, дать «второе мнение» для молодых специалистов при анализе слож-

ных клинических случаев и «унифицировать» стратегию принятия решения при разборе случаев врачебных ошибок или послеоперационных осложнений.

Рассматривая перспективу применения данных технологий на практике, учитывая их удобство в клинической работе, в научном сообществе станет возможным создать алгоритмы по каждому из нозологических случаев и методов лечения. ■

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Türk C, Petřík A, Sarica K, Seitz C, Skolarikos A, Straub M. EAU guidelines on interventional treatment for urolithiasis. *Eur Urol* 2016;69(3):475–82. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2015.07.041>
2. Kallidonis P, Kyriazis I, Kotsiris D, Koutava A, Kamal W, Liatsikos E. Papillary vs non-papillary puncture in percutaneous nephrolithotomy: a prospective randomized trial. *J Endourol* 2017;31(S1):S4–S9. <https://doi.org/10.1089/end.2016.0571>
3. Kyriazis I, Kallidonis P, Vasilas M, Panagopoulos V, Kamal W, Liatsikos E. Challenging the wisdom of puncture at the calyceal fornix in percutaneous nephrolithotripsy: feasibility and safety study with 137 patients operated via a non-calyceal percutaneous track. *World J Urol* 2017;35(5):795–801. <https://doi.org/10.1007/s00345-016-1919-y>
4. Kallidonis P, Kalogeropoulou C, Kyriazis I, Apostolopoulos D, Kitrou P, Kotsiris D. Percutaneous nephrolithotomy puncture and tract dilation: evidence on the safety of approaches to the infundibulum of the middle renal calyx. *Urology* 2017;107:43–8. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2017.05.038>
5. Mintz Y, Brodie R. Introduction to artificial intelligence in medicine. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies* 2019;28(2):73–81. <https://doi.org/10.1080/13645706.2019.1575882>
6. Checucci E, Amparore D, Volpi G, Piramide F, De Cillis S, Piana A et al. Percutaneous puncture during PCNL: new perspective for the future with virtual imaging guidance. *World J Urol* 2022;40(3):639–50. <https://doi.org/10.1007/s00345-021-03820-4>
7. Antoniou V, Gauhar V, Kallidonis P, Skolarikos A, Veneziano D, Liatsikos E et al. Education and training evolution in urolithiasis: A perspective from European School of Urology. *Asian J Urol* 2023;10(3):281–8. <https://doi.org/10.1016/j.ajur.2023.01.004>
8. Nedbal C, Cerrato C, Jahrreiss V, Castellani D, Pietropaolo A, Galosi AB et al. The role of 'artificial intelligence, machine learning, virtual reality, and radiomics' in PCNL: a review of publication trends over the last 30 years. *Ther Adv Urol* 2023;15:17562872231196676. <https://doi.org/10.1177/17562872231196676>
9. McDonald L, Ramagopalan SV, Cox AP, Oguz M. Unintended consequences of machine learning in medicine. *J American Med Assoc* 2017;318(6):517–8. <https://doi.org/10.12688/f1000research.12693.1>
10. Lee JG, Jun S, Cho YW, Lee H, Kim GB, Seo JB, Kim N. Deep learning in medical imaging: general overview. *Korean J Radiol* 2017;18(4):570–84. <https://doi.org/10.3348/kjr.2017.18.4.570>
11. McKinney SM, Sieniek M, Godbole V, Godwin J, Antropova N, Ashrafian H, et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature* 2020;577(7788):89–94. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1799-6>
12. Ahmed A, Brychcy A, Abouzid A, Witt M, Kaczmarek E. Perception of Pathologists in Poland of Artificial Intelligence and Machine Learning in Medical Diagnosis—A Cross-Sectional Study. *J Pers Med* 2023;13:962. <https://doi.org/10.3390/jpm13060962>
13. Wishahi M, El Feel A, Elkhouly A, Fahmy A, Roshdy M, Elbaz AG, et al. Concerns about stone free rate and procedure events of percutaneous nephrolithotripsy (PCNL) for 2–4 cm kidney stones by standard-PCNL vs mini-PCNL- comparative randomised study. *BMC Urol* 2023;23(1):96. <https://doi.org/10.1186/s12894-023-01270-1>
14. Thapa BB, Niranjana V. Mini PCNL Over Standard PCNL: What Makes it Better? *Surg J (N Y)* 2020;6(1):e19–e23. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1701225>
15. Jiang G, Li J, Long H, Qiulin C, Jin R, Yaodong Y et al. Study on risk factors, bacterial species, and drug resistance of acute pyelonephritis associated with ureteral stent after percutaneous nephrolithotomy. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 2021;40(4):707–13. <https://doi.org/10.1007/s10096-020-04050-z>
16. Bhojani N, Paranjpe R, Cutone B, Eisner BH. Infectious Complications, Healthcare Resource Use, and Medical Costs Associated with Delays in Percutaneous Nephrolithotomy Among Patients with Stone Disease and Ureteral Stent Placement. *J Endourol* 2023;37(6):654–9. <https://doi.org/10.1089/end.2022.0489>
17. Patel AP, Bui D, Pattaras J, Ogan K. Upper pole urologist-obtained percutaneous renal access for PCNL is safe and efficacious. *Can J Urol* 2017;24(2):8754–8.
18. Soares RMO, Zhu A, Talati VM, Nadler RB. Upper Pole Access for Prone Percutaneous Nephrolithotomy: Advantage or Risk? *Urology* 2019;134:66–71. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2019.08.031>
19. Lightfoot M, Ng C, Engebretsen S, Wallner C, Huang G, Li R et al. Analgesic use and complications following upper pole access for percutaneous nephrolithotomy. *J Endourol* 2014;28(8):909–14. <https://doi.org/10.1089/end.2014.0035>
20. Kriegshauser JS, Silva AC, Paden RG, He M, Humphreys MR, Zell SI, et al. Ex vivo renal stone characterization with single-source dual-energy computed tomography: a multiparametric approach. *Acad Radiol* 2016;23(8):969–76. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2016.03.009>
21. Kazemi Y, Mirroshandel SA. A novel method for predicting kidney stone type using ensemble learning. *Artif Intell Med* 2018;84:117–26. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2017.12.001>
22. Aminsharif A, Irani D, Tayebi S, Jafari Kafash T, Shabaniyan T, Parsaei H. Predicting the Postoperative Outcome of Percutaneous Nephrolithotomy with Machine Learning System: Software Validation and Comparative Analysis with Guy's Stone Score and the CROES Nomogram. *J Endourol* 2020;34(6):692–9. <https://doi.org/10.1089/end.2019.0475>
23. Aminsharif A, Irani D, Pooyesh S, Parvin H, Dehghani S, Yousofi K et al. Artificial Neural Network System to Predict the Postoperative Outcome of Percutaneous Nephrolithotomy. *J Endourol* 2017;31(5):461–7. <https://doi.org/10.1089/end.2016.0791>
24. Shabaniyan T, Parsaei H, Aminsharif A, Movahedi MM, Jahromi AT, Pouyesh S et al. An artificial intelligence-based clinical decision support system for large kidney stone treatment. *Australas Phys Eng Sci Med* 2019;42(3):771–9. <https://doi.org/10.1007/s13246-019-00780-3>
25. Tang A, Tam R, Cadrin-Chênevert A, Guest W, Chong J, Barfett J, et al. Canadian Association of Radiologists white paper on artificial intelligence in radiology. *Canad Assoc Radiol J* 2018;69(2):120–35. <https://doi.org/10.1016/j.carj.2018.02.002>
26. Wagner MW, Namdar K, Biswas A, Monah S, Khalvati F, Ertl-Wagner BB. Radiomics. Machine learning, and artificial intelligence-what the neuroradiologist needs to know. *Neuroradiology* 2021;63(12):1957–67. <https://doi.org/10.1007/s00234-021-02813-9>
27. Nedbal C, Cerrato C, Jahrreiss V, Castellani D, Pietropaolo A, Galosi AB et al. The role of 'artificial intelligence, machine learning, virtual reality, and radiomics' in PCNL: a review of publication trends over the last 30 years. *Ther Adv Urol* 2023;15:17562872231196676. <https://doi.org/10.1177/17562872231196676>
28. Infante G, Miceli R, Ambrogi F. Sample size and predictive performance of machine learning methods with survival data: A simulation study. *Stat Med* 2023;42(30):5657–75. <https://doi.org/10.1002/sim.9931>

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

29. Kuwabara M, Ikawa F, Sakamoto S, Okazaki T, Ishii D, Hosogai M et al. Effectiveness of tuning an artificial intelligence algorithm for cerebral aneurysm diagnosis: a study of 10,000 consecutive cases. *Sci Rep* 2023;13(1):16202. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43418-x>.
30. Jin C, Chen W, Cao Y, Xu Z, Tan Z, Zhang X et al. Development and evaluation of an artificial intelligence system for COVID-19 diagnosis. *Nat Commun* 2020;11(1):5088. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18685-1>.
31. Shoshan Y, Bakalo R, Gilboa-Solomon F, Ratner V, Barkan E, Ozery-Flato M et al. Artificial Intelligence for Reducing Workload in Breast Cancer Screening with Digital Breast Tomosynthesis. *Radiology* 2022;303(1):69-77. <https://doi.org/10.1148/radiol.211105>.
32. Maugeri O, Di Grazia E, D'Arrigo L, Agliozzo R, Calvano G, Trovato F et al. Supine mini percutaneous nephrolithotomy in horseshoe kidney. *Arch Ital Urol Androl* 2023;95(3):11605. <https://doi.org/10.4081/aiua.2023.11605>.
33. Blackburne AT, Rivera ME, Gettman MT, Patterson DE, Krambeck AE. Endoscopic Management of Urolithiasis in the Horseshoe Kidney. *Urology* 2016;90:45-9. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2015.12.042>.

Сведения об авторах:

Щамхалова К.К. – младший научный сотрудник НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «МНИЦ радиологии» Минздрава России; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 1238532

Меринов Д.С. – д.м.н., руководитель группы эндоурологии НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «МНИЦ радиологии» Минздрава России, Москва, Россия; РИНЦ Author ID 636113, <https://orcid.org/0000-0001-5966-9233>

Артемьев А.В. – к.м.н., заведующий операционным блоком со стерилизационной НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «МНИЦ радиологии» Минздрава России; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 787885

Гурбанов Ш.Ш. – к.м.н., ведущий научный сотрудник группы эндоурологии НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «МНИЦ радиологии» Минздрава России; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 636203

Инамов Р.Р. – ординатор второго года НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «МНИЦ радиологии» Минздрава России, Москва, Россия

Аполихин О.И. – д.м.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор НИИ урологии и интервенционной радиологии им. Н.А. Лопаткина – филиал ФГБУ «МНИЦ радиологии» Минздрава России; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 683661, - <https://orcid.org/0000-0003-0206-043X>

Каприн А.Д. – д.м.н., профессор, академик РАН, генеральный директор ФГБУ «МНИЦ радиологии» Минздрава России, директор МНИОИ имени П.А. Герцена, зав. кафедрой онкологии и рентгенодиагностики им. В.П. Харченко РУДН, главный внештатный онколог Минздрава России; Москва, Россия; РИНЦ Author ID 96775; <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Вклад авторов:

Щамхалова К.К. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста, 25%

Меринов Д.С. – сбор и обработка материала, написание текста, 20%

Артемьев А.В. – сбор и обработка материала, написание текста, 15%

Гурбанов Ш.Ш. – сбор и обработка материала, написание текста, 10%

Инамов Р.Р. – сбор данных, 10%

Аполихин О.И. – концепция и дизайн исследования, 10%

Каприн А.Д. – концепция и дизайн исследования, 10%

Работа выполнена при поддержке Московского центра инновационных технологий в здравоохранении; Заявка №1003-2/22.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Исследование проведено без финансовой поддержки.

Статья поступила: 12.12.23

Результаты рецензирования: 25.01.24

Исправления получены: 27.01.24

Принята к публикации: 27.01.24

Information about authors:

Shchamkhalova K.K. – junior researcher of N. Lopatkin Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center; Moscow, Russia; RSCI Author ID 1238532

Merinov D.S. – Dr. Sci., Head of the Department of Endourology of N. Lopatkin Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center; Moscow, Russia; RSCI Author ID 636113, <https://orcid.org/0000-0001-5966-9233>

Artemov A.V. – PhD, head of the operating unit with a sterilization room of N. Lopatkin Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center; Moscow, Russia; RSCI Author ID 787885

Gurbanov Sh.Sh. – PhD, Senior Researcher at the Department of Endourology of N. Lopatkin Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center; Moscow, Russia; RSCI Author ID 636203

Inamov R.R. – second year resident N.A. Lopatkin Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Radiological Center, Moscow, Russia

Apolikhin O.I. – Dr. Sci., professor, cor.-member of RAS, director of N. Lopatkin Scientific Research Institute of Urology and Interventional Radiology – branch of the National Medical Research Centre of Radiology of Ministry of health of Russian Federation; Moscow, Russia; RSCI Author ID 683661, <https://orcid.org/0000-0003-0206-043X>

Kaprin A.D. – Dr. Sci, professor, academician of RAS, general director of the National Medical Research Centre of Radiology of Ministry of health of Russian Federation, director of P.A. Herzen Institution, Head of Department of Oncology and Radiology named after V.P. Kharchenko of RUDN University; Moscow, Russia; RSCI Author ID 96775, <https://orcid.org/0000-0001-8784-8415>

Authors' contributions:

Shchamkhalova K.K. – developing the research design, obtaining and analyzing statistical data, article writing, 20%

Merinov D.S. – obtaining and analyzing statistical data, article writing, 20%

Artemov A.V. – obtaining and analyzing statistical data, article writing, 15%

Gurbanov S.S. – obtaining and analyzing statistical data, article writing, 10%

Inamov R.R. – obtaining data, 10%

Apolikhin O.I. – developing the research design, 10%

Kaprin A.D. – developing the research design, 10%

The work was carried out with the support of the Moscow Center for Innovative Technologies in Healthcare; Application No. 1003-2/22.

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

Financing. The article was published without financial support.

Received: 12.12.23

Peer review: 25.01.24

Corrections received: 27.01.24

Accepted for publication: 27.01.24