

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2024-17-3-43-51>

Искусственный интеллект для планирования тактики ведения пациентов после перкутанной нефролитотрипсии

КЛИНИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

К.К. Шамхалова¹, Д.С. Меринов¹, А.В. Артемов¹, Ш.Ш. Гурбанов¹, 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-я Парковая ул., Москва, 105425, Россия

² Российский университет Дружбы народов; д. 6, ул. Миклухо-Маклая, Москва, 117198, Россия

³ НМИЦ радиологии Минздрава России; д. 3, 2-й Боткинский пр-д, Москва, 125284, Россия

⁴ МНИОИ им. П. А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; д. 3, 2-ой Боткинский проезд, Москва, 125284, Россия

Контакт: Шамхалова Камилла Керимовна, dockimyura@gmail.com

Аннотация:

Введение. Мочекаменная болезнь остается одной из наиболее часто встречаемых урологических патологий, оказывая значительную нагрузку на систему здравоохранения. Актуальным направлением в оптимизации перкутанной нефролитотрипсии (ПНЛ) является персонализированный прогноз ведения пациентов, основанный на алгоритмах принятия решений искусственного интеллекта (ИИ). В нашей работе мы применили алгоритм для создания наиболее оптимальной тактики ведения пациента после ПНЛ.

Цель. Оптимизировать тактику ведения пациентов после ПНЛ на основе ИИ.

Материалы и методы. В работе были проанализированы данные 1000 пациентов в возрасте от 18 до 88 лет (52,3±13,47) с нефролитиазом, которым была выполнена ПНЛ. Обработка данных проводилась с применением программ IBM SPSS Statistics и Modeler методом моделирования нейронных сетей.

Результаты. Точность прогноза по развитию пиелонефрита составила 79%, развитию геморрагических осложнений – 94,7%, установке внутреннего стента – 94,77%, замене/ре-нефростомии составила 99%, дополнительным хирургическим вмешательствам – 97,4%, продолжительности госпитализации – 93,4%, выписки с дренажами – 93,37%, рекомендации лечащего врача о дальнейшей тактике ведения пациента – 91,6%.

Заключение. Дальнейшее развитие технологии ИИ не только даст «второе мнение» и сократит время обработки больших объемов информации, но также стандартизирует подход к лечению сложных клинических случаев и поможет оптимизировать работу урологического отделения.

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

Для цитирования: Шамхалова К.К., Меринов Д.С., Артемов А.В., Гурбанов Ш.Ш., Аполихин О.И., Каприн А.Д. Искусственный интеллект для планирования тактики ведения пациентов после перкутанной нефролитотрипсии. Экспериментальная и клиническая урология 2024;17(3):43-51; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2024-17-3-43-51>

<https://doi.org/10.29188/2222-8543-2024-17-3-43-51>

Artificial intelligence for planning patient management tactics after percutaneous nephrolithotripsy

CLINICAL STUDY

К.К. Shchamkhalova¹, D.S. Merinov¹, A.V. Artemov¹, Sh.Sh. Gurbanov¹, 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 RUDN University; 6, st. Miklukho-Maklaya, Moscow, 117198, Russia

³ National Medical Research Centre of Radiology of Ministry of Health of Russian Federation; 4, st. Koroleva, Kaluga region, Obninsk, 249036, Russia

⁴ 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

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

Summary:

Introduction. Urolithiasis remains one of the most common urological pathologies that deserves due attention in the healthcare system. A current direction in optimizing percutaneous nephrolithotripsy (PCNL) is a personalized prognosis for patient management based on artificial intelligence (AI) decision-making algorithms. In our work, we applied an algorithm to create the most optimal tactics for patient management after PCNL.

Purpose. Optimize the management of patients after PCNL based on AI.

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%

Conclusion. Further development of AI technology will not only provide a «second opinion» and reduce the time for processing large volumes of information, but will also standardize the approach to the treatment of complex clinical cases and help optimize the work of the urology department.

Key words: urolithiasis; percutaneous nephrolithotripsy; artificial intelligence.

For citation: Shchamkhalova K.K., Merinov D.S., Artemov A.V., Gurbanov Sh.Sh., Apolikhin O.I., Kaprin A.D. Artificial intelligence for planning patient management tactics after percutaneous nephrolithotripsy. *Experimental and Clinical Urology* 2024;17(3):43-51; <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2024-17-3-43-51>

ВВЕДЕНИЕ

Перкутанная нефролитотрипсия (ПНЛ) – является наиболее широко применимой техникой в лечении нефролитиаза [1]. При этом, по статистике 40% коечного фонда в урологических отделениях занимают пациенты с мочекаменной болезнью (МКБ) [2]. Пациенты для ПНЛ госпитализируются в плановом порядке и занимают лишь относительно малую долю в отделении стационара. В тоже время, после проведения ПНЛ в ряде случаев может возникать потребность в дополнительных хирургических вмешательствах с целью купирования осложнений или для предотвращения обструкции верхних мочевых путей (ВМП) резидуальными конкрементами методом установки дренажей в чашечно-лоханочную систему (ЧЛС) [3-5]. Послеоперационные дополнительные вмешательства приводят к пролонгированию госпитализации и увеличению стоимости клинического случая. Все это вызывает нагрузку на систему здравоохранения и осложняет логистику плановых госпитализаций [6, 7].

Целью нашего исследования является создание алгоритма принятия решений, способного учитывать множество факторов и достоверно предсказывать вероятность развития осложнений, длительность госпитализации, потребность в дополнительных вмешательствах, вероятность выписки пациента с дренажами и рекомендации о дальнейшей тактике ведения больного.

Планирование тактики послеоперационного ведения больного для максимальной оптимизации должно закладываться на этапе госпитализации, учитывая лишь входные параметры пациента. Данная практика позволит оптимизировать работу стационаров, молодым специалистам поможет ускорить процесс анализа данных и подтвердить их прогнозы, подготовить специалистов к разным исходам событий после хирургического вмешательства [8-10].

С целью персонализированного прогнозирования осложнений и тактики ведения пациента в послеоперационном периоде после ПНЛ нами была разработана и предложена модель алгоритма искусственного интеллекта (ИИ) для применения в клинической работе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе были проанализированы данные 1000 пациентов в возрасте от 18 до 88 лет ($52,3 \pm 13,47$) с нефролитиазом, которым была выполнена ПНЛ. Общее число мужчин – 419 (41,9%), женщин – 581 (58,1%).

Критерии включения:

- возраст пациента от 18 лет;
- первым оперативным вмешательством в госпитализацию проводится ПНЛ;
- показатели свертывающей системы крови без патологических изменений;
- отсутствие злокачественных новообразований ВМП на стороне операции.

Критерии исключения:

- острый воспалительный процесс любой локализации;
- истончение паренхиматозного слоя почки менее 1 см;
- сопутствующие заболевания в стадии декомпенсации.

Обследование пациентов проводилось путем сбора анамнеза, ультразвукового исследования (УЗИ) почек и мочевого пузыря, выполнялась урография или компьютерная томография (КТ) с или без в/в контрастирования мочевыделительной системы, биохимический анализ крови (с определением уровня мочевины и креатинина), общий анализ крови и посев мочи на определение бактериального агента и чувствительности к антибиотикам. Для проведения ПНЛ пациентов планово госпитализировали в стационар.

В течении оперативного вмешательства пациенту однократно вводился антибиотик, при развитии пиелонефрита лечение проводилось длительно, согласно рекомендациям по лечению острого пиелонефрита.

Послеоперационное обследование на наличие резидуальных камней проводилось на 2-3 сутки после вмешательства методом выполнения КТ и УЗИ органов брюшинного пространства. Конкременты признавались клинически значимыми при размере, превышающем 0,4 см.

Переменные (результаты обследования, методы выполнения ПНЛ, послеоперационная тактика ведения) в исследовании делились на 3 группы. К первой группе отнесли входные переменные, клинические данные, с которыми пациент поступает на хирургическое вмешательство. Ко второй группе отнесли данные метода выполнения операции (которые также поэтапно прогнозировались с применением ИИ) и к третьей группе отнесли прогнозируемые переменные после ПНЛ: осложнения хирургического вмешательства, дополнительные методы оперативного вмешательства, рекомендации дальнейшей тактики лечения.

Все 1000 наблюдений в процессе исследования были поделены на обучающую и контрольную выборку (процентное отношение разделения отличалось в зависимости от целевой переменной). Тестовые клини-

ческие случаи были добавлены после создания алгоритма и составили 30 случаев.

Поскольку суть исследования заключается в предсказании послеоперационной тактики ведения, алгоритм базируется на поэтапном предсказании с известными только входными данными (те данные, с которыми пациент госпитализируется в стационар). Данные метода хирургического вмешательства и послеоперационного ведения являются спрогнозированными.

К первой группе мы отнесли входные переменные. Во вторую группу были включены переменные по тактике хирургического вмешательства, точность их прогнозирования мы описывали в нашей предыдущей печатной работе [11]. В данной статье будет рассмотрен прогноз по третьей группе, т.е. по тактике послеоперационного ведения пациента после ПНЛ (табл. 1). ■

Таблица 1. Перечень переменных по группам
Table 1. List of groups and variables

Входные переменные / Input variables		Прогнозируемые переменные / Predicted variables	
1-я группа 1st group		2-я группа. Тактика хирургического вмешательства 2nd group. Tactics of surgical intervention	
1. Пол Gender		1. Размер нефроскопа Size of nephroscope	
2. Возраст Age		2. Интраоперационная установка стента Intraoperative stent placement	
3. ИМТ BMI		3. Одновременная уретероскопия/КУЛТ Simultaneous ureteroscopy/ ureterolithotripsy	
4. ССЗ Cardiovascular disease		4. Количество доступов Number of accesses	
5. Гипертония 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. Рецидивный характер заболевания Recurrence of the disease		9. Наличие резидуальных конкрементов Presence of residual stones	
10. Предыдущее лечение Previous treatment		3-я группа. Тактика послеоперационного ведения. Цель исследования 3rd group. Postoperative management tactics. Purpose of the study	
11. Посев мочи на микрофлору Urine culture for microflora		1. Пиелонефрит Pyelonephritis	
12. Концентрация креатинина в сыворотке крови Blood serum creatinine concentration		2. Геморрагические осложнения Hemorrhagic complications	
13. Концентрация мочевины в сыворотке крови Blood serum urea concentration		3. Установка/замена/удаление стента Stent installation/replacement/removal	
14. Лейкоциты в ОАК Leukocytes in the CBC		4. Замена/ре-нефростомия Replacement/re-nephrostomy	
15. Гидронефроз Hydronephrosis		5. Гемосорбция Hemosorption	
16. Кисты почки Kidney cysts		6. Дополнительные хирургические вмешательства Additional surgical interventions	
17. Нарушение уродинамики (в мес.) Violation of urodynamics		7. Продолжительность госпитализации Duration of hospitalization	
18. Аномалия ВМП Anomaly of the upper urinary tract		8. Рекомендации по дальнейшей тактике лечения Recommendations for further treatment tactics	
19. Стриктура мочеточника Ureteral stricture		9. Выписка с дренажами Discharge with drainage	
20. Визуализация конкремента на урографии Visualization of the stone on X-ray			
21. Плотность конкремента (по НУ) Stone density (according to HU)			
22. Размер конкремента Stone size			
23. Локализация Localization			

К первой группе относятся переменные по 23 параметрам: пол пациента, возраст, индекс массы тела (по стадиям ожирения), наличие в анамнезе заболеваний сердечно-сосудистой системы (ССЗ), стадия артериальной гипертензии, наличие сахарного диабета (СД), наличие и стадия хронической болезни почек (ХБП), присутствие дренирования верхних мочевыводящих путей (ВМП) на стороне операции к моменту госпитализации, частота рецидивов после лечения МКБ, наличие и характер предыдущего лечения на стороне операции (включая операции на мочеточниках, лоханочно-мочеточниковом сегменте, почках и мочевом пузыре), наличие врожденных и/или приобретенных аномалий и патологий ВМП, визуализация конкремента на урографии, тип конкремента (его плотность, форма, размер) и локализация.

Ко второй группе (тактики хирургического вмешательства) отнесли 9 переменных: размер используемого в операции нефроскопа, сочетанное применение уретероскопии или контактной уретеролитотрипсии (КУЛТ), необходимость в конце операции в дренировании внутренним мочеточниковым стентом, количество доступов, локализация доступов по чашечкам (верхняя, средняя и нижняя группа), продолжительность хирургического вмешательства и наличие резидуальных камней.

В третью группу вошли 9 переменных, относящихся к послеоперационной тактике ведения пациентов: геморрагические осложнения, пиелонефрит, установка/замена/удаление стента, замена/ре-нефростомия, продолжительность госпитализации, гемосорбция, дополнительные хирургические вмешательства, рекомендации о тактике ведения пациента после госпитализации, наличие и характер дренирования ВМП при выписке.

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 связь была средней, и если значение коэффициента $r < 0,5$, то связь признавалась слабой. Затем, определялись относительные значения важности переменных, их сумма равна 1,0.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первым предиктором в данной работе, будет рассматриваться вероятность развития осложнений в ран-

нем послеоперационном периоде. Осложнения были поделены на: пиелонефрит и геморрагические осложнения. Всего гладкий послеоперационный период наблюдался у 737 больных (73,7%). Пиелонефрит был выявлен у 204 (20,4%) больных, геморрагические осложнения у 29 (2,9%), пиелонефрит и геморрагические осложнения у 30 (3,05%).

Точность прогноза по развитию пиелонефрита составила 79%, AUC – 0,747. Наиболее важными предикторами для создания модели являлись (по коэффициенту важности) – концентрация мочевины в сыворотке крови (0,25), длительность операции (0,25), ХБП (0,09), предыдущее лечение (0,08), размер камня (0,06), аномалии ВМП (0,05), гипертония (0,04), сахарный диабет (0,03), возраст пациента (0,03), рентгеноположительность конкрементов (0,03) (табл. 2).

Таблица 2. Предсказание развития пиелонефрита в послеоперационном периоде

Table 2. Prognostic factors of acute pyelonephritis in the postoperative period

Показатель Indicators	Предсказание развития пиелонефрита Prognostic factors of acute pyelonephritis
Точность/AUC Accuracy/AUC	79%/0,747
Предикторы Predictor	Важность предикторов Predictor importance
Концентрация мочевины в сыворотке крови Blood serum urea concentration	0,25
Длительность операции (в мин.) Operative time (min.)	0,25
ХБП CKD	0,09
Предыдущее лечение Previous treatment	0,08
Размер конкремента Stone size	0,06
Аномалия ВМП Anomaly of the upper urinary tract	0,05
Артериальная гипертония Arterial hypertension	0,04
Сахарный диабет Diabetes mellitus	0,03
Возраст Age	0,03
Визуализация конкремента на урографии Visualization of the stone on X-ray	0,03

Существует множество исследований, доказывающих связь продолжительности оперативного вмешательства и развития инфекционно-воспалительной реакции. При рассмотрении влияния эндоскопических операций (таких как ПНЛ) отмечено, что на этот показатель влияет увеличение внутрилоханочного давле-

ния и работа в водной среде [12-14]. Помимо этого, часть конкрементов является следствием инфекционных заболеваний, и при разрушении камней высвобождаются бактерии в составе биопленок, увеличивая шанс развития пиелонефрита [15].

Вторым по распространенности осложнением ПНЛ являются *геморрагические осложнения*. Алгоритм способен прогнозировать данный предиктор с точностью 94,7%, AUC – 0,743. Всего было зафиксировано 59 (5,9%) пациентов с геморрагическими осложнениями. К ним можно отнести как менее тяжелые (продолжающиеся кровотечения из нефростомического дренажа, требующие дополнительной коррекции баллона в чашечно-лоханочной системе (ЧЛС) или ввода гемостатиков), так и грозные осложнения (гемотампонада мочевого пузыря или ЧЛС) [16, 17]. В алгоритм были отобраны следующие предикторы: длительность операции (0,14), стриктура мочеточника (0,12), наличие резидуальных камней (0,11), ХБП (0,10), развитие пиелонефрита в послеоперационном периоде (0,10), доступ через верхнюю группу чашечек (0,08), общее количество доступов (0,08), кисты почек (0,08), концентрация креатина в крови до операции (0,06) (табл. 3).

Таблица 3. Предсказание развития геморрагических осложнений в послеоперационном периоде
Table 3. Prognostic factors of hemorrhagic complications in the postoperative period

Показатель Indicators	Предсказание развития геморрагических осложнений Prognostic factors of hemorrhagic complications
Точность/AUC Accuracy/AUC	94,7%/0,743
Предикторы Predictor	Важность предикторов Predictor importance
Длительность операции (в мин.) Operative time (min.)	0,14
Стриктура мочеточника Ureteral stricture	0,12
Наличие резидуальных конкрементов Presence of Residual Stones	0,11
ХБП CKD	0,10
Пиелонефрит Pyelonephritis	0,10
Доступ через верхнюю группу чашечек Access through the upper of caliceals	0,08
Количество доступов Number of accesses	0,08
Кисты почки Kidney cysts	0,08
Концентрация креатинина в сыворотке крови Blood serum creatinine concentration	0,06

На развитие геморрагических осложнений в большей степени влияют не литометрические параметры, а соматическое состояние пациента и тактика хирургического вмешательства (табл. 3).

В нашей работе была доказана связь между объемом кист почки и развитием кровотечений после ПНЛ. Размер кист более 2 см увеличивает риск развития кровотечения в послеоперационном периоде более чем в 2 раза. (рис. 1). Во время выполнения хирургического вмешательства, доступ в ЧЛС всегда осуществлялся в обход кист. Всего пациентов без кист почки на стороне операции в исследовании рассматривалось 811. С кистами до 2 см – 69, с кистами более 2 см – 55, с поликистозом – 6. Учитывая малый объем выборки пациентов с поликистозом, необходимо дополнительное исследование.

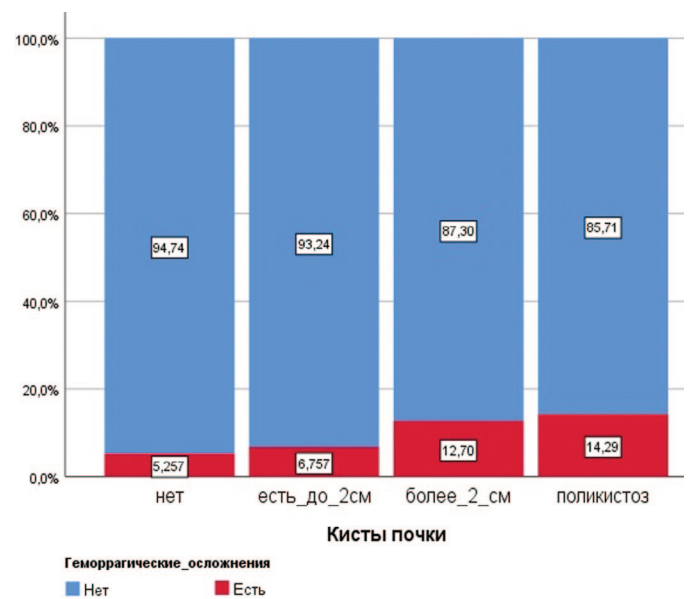


Рис. 1. Связь наличия кист почек на стороне операции и геморрагических осложнений
Fig. 2. Relationship between the presence of kidney cysts on the side of surgery and hemorrhagic complications

Прогноз необходимости в *дополнительных вмешательствах* влияет не только на увеличение финансовых затрат стационара, но и позволяет спланировать оборот коек в отделении. К дополнительным вмешательствам отнесены те, что были реализованы в единую госпитализацию с ПНЛ.

К одному из факторов, приводящих к дополнительным вмешательствам, относится потребность в *наличии функционирующего стента* в послеоперационном периоде. К этой переменной мы отнесли: установку и удаление стента (установленного на срок ношения от 1-3 месяцев).

Точность прогноза составила 94,77%/AUC 0,958. Наиболее важными предикторами в построении модели явились: наличие резидуальных конкрементов (0,26), уровень креатинина в сыворотке крови до операции (0,20), локализация конкремента (0,14), возраст пациента (0,11), размер камня (0,10), развитие

пиелонефрита (0,06), предварительное дренирование (0,06), интраоперационная установка стента (0,06), пол пациента (0,02).

Замена нефростомы или создание нового нефростомического доступа происходили как следствие миграции дренажа или обструкции сгустками/фрагментами. Если происходила замена нефростомы вместе с нефроскопией, то наблюдение относилось к переменной «дополнительные хирургические вмешательства».

Точность прогноза по замене/ре-нефростомии составила 99%/AUC 0,879. Наиболее важным предиктором был выявлен предиктор уровня креатинина в сыворотке крови до операции (0,39), затем длительность операции (0,17), размер конкремента (0,10), ХБП (0,09), развитие пиелонефрита (0,05), возраст пациента (0,05), наличие предварительно дренирования (0,04), наличие гидронефроза до операции (0,03), геморрагические осложнения (0,02).

В исследовании, для упрощения применения алгоритма лечащим врачом, размер конкрементов был разделен по группам, учитывая наибольшую сторону камня (или сумму сторон конкрементов). Вероятность замены/ре-нефростомии при размере конкремента более чем 6,1 см составляет 5,6%, а при размере 3-6 см – всего 0,57%.

При неэффективности противовоспалительной и антибактериальной терапии в послеоперационном периоде применялась гемосорбция. Точность для предсказания потребности в данном методе лечения составила 99,2%/AUC 0,955. Наиболее важными предикторами в создании модели были выделены: длительность оперативного вмешательства (0,35), возраст пациента (0,17), развитие пиелонефрита в послеоперационном периоде (0,13), размер конкремента (0,09), потребность в интраоперационной установке стента (0,09), гидронефроз (0,07), пол пациента (0,05), результат бактериологического посева мочи (0,05). В 90% случаев в наблюдениях гемосорбция применялась к женщинам и только в 10% – мужчинам.

Точность прогноза по дополнительным хирургическим вмешательствам составила 97,4%/AUC 0,967. К данным предикторам были отнесены: ПНЛ, Мини-ПНЛ, дистанционная литотрипсия (ДЛТ), КУЛТ, отмывание тампонады почки. Наиболее важными предикторами в построении модели стали: наличие резидуальных конкрементов (0,48), локализация конкрементов (0,18), ИМТ пациента (0,12), предварительное (до операции) дренирование ЧЛС на стороне вмешательства (0,12), развитие пиелонефрита в послеоперационном периоде (0,10) (табл. 4).

Таблица 4. Предсказание потребности в дополнительных вмешательствах
Table 4. Predicting the need for additional interventions

Показатель Indicators	Установка/замена/ удаление стента Stent installation/ replacement/removal	Замена/ре-нефростомия Replacement/ re-nephrostomy	Гемосорбция Hemosorption	Дополнительные хирургические вмешательства Additional surgical interventions
Точность/AUC Accuracy/AUC	79%/0,747	99%/AUC 0,879	99,2%/AUC 0,955	97,4%/AUC 0,967
Предикторы / Predictor	Важность предикторов / Predictor importance			
Наличие резидуальных конкрементов Presence of residual stones	0,26	–	–	0,48
Концентрация креатинина Creatinine concentration	0,20	0,39	–	–
Локализация камня Stone localization	0,14	–	–	0,18
Возраст Age	0,11	0,05	0,17	–
Размер конкремента Stone size	0,10	0,10	0,09	–
Пиелонефрит Pyelonephritis	0,06	0,05	0,13	0,10
Предварительное дренирование Pre-drainage	0,06	0,04	–	0,12
Интраоперационная установка стента Intraoperative stent placement	0,06	–	0,09	–
Пол Gender	0,02	–	0,05	–
Длительность операции (в мин.) Operative time (min.)	–	0,17	0,35	–
ХБП CKD	–	0,09	–	–
Гидронефроз Hydronephrosis	–	0,03	0,07	–
Геморрагические осложнения Hemorrhagic complications	–	0,02	–	–
Посев мочи Urine culture	–	–	0,05	–
ИМТ BMI	–	–	–	0,12

Точность прогноза для *продолжительности госпитализации* составила 93,4%. При создании алгоритма наиболее важными предикторами были выявлены: наличие дополнительных хирургических вмешательств (0,22), развитие пиелонефрита в послеоперационном периоде (0,15), потребность в установке/замене внутреннего стента (0,1), наличие резидуальных конкрементов (0,10), потребность в дополнительной установке нефростомы (0,09), потребность в проведении гемосорбции в послеоперационном периоде (0,06), длительность хирургического вмешательства 0,05, геморрагические осложнения в послеоперационном периоде (0,05), размер конкремента (0,04), локализация камней в ЧЛС (0,02).

Пациент госпитализировался за сутки до хирургического вмешательства, средняя продолжительность госпитализации составила 7 суток (включая выходные дни). На 2-е сутки пребывания в стационаре проводилось хирургическое вмешательство, на 3-и сутки проводилось контрольное исследование (общий анализ мочи, биохимическое исследование крови, УЗИ), на 4-е сутки, при необходимости, КТ органов брюшинного пространства, после чего нефростомический дренаж удалялся, и пациент на 5-е сутки выписывался. Такая последовательность связана с необходимостью динамического наблюдения развития не только воспалительных, но и геморрагических осложнений.

При предсказании *выписки с дренажами* использовались следующие переменные: выписка с 1 нефростомой, выписка с двумя нефростомами, выписка со стентом + нефростомой и выписка со стентом. Точность прогноза составила 93,37%/AUC 0,909.

Наиболее важными предикторами стали: интраоперационная установка стента (0,13), повторная установка мочеточникового стента после хирургического вмешательства (0,10), предыдущее лечение в анамнезе (0,06), наличие резидуальных конкрементов (0,06), уровень креатинина до операции (0,06), размер конкремента (0,05), локализация камня в ЧЛС (0,05), дополнительные хирургические вмешательства после ПНЛ (0,05), наличие предварительного дренирования до госпитализации (0,04), ССЗ (0,04).

Выписка с дренажами после госпитализации имеет важное значение для подсчета суммарного страхового случая по отдельной нозологии. Если пациента выписывают с нефростомой, это провоцирует развитие отдаленных осложнений, таких как кровотечение или инфекционно-воспалительный процесс после выписки, требующих экстренного хирургического вмешательства.

Следующим параметром для изучения стала *рекомендация лечащего врача* о дальнейшей тактике ведения пациента. В эту переменную вошли рекомендации о повторной госпитализации с целью проведения хи-

рургических вмешательств. Точность прогноза составила 91,6%/AUC 0,998. К наиболее важным предикторам применяемых в алгоритме были отнесены: выписка с дренажами (0,17), концентрация креатинина в крови (0,14), наличие резидуальных конкрементов (0,08), длительность операции (0,08), локализация конкремент (0,06), продолжительность госпитализации (0,05), интраоперационная установка внутреннего стента (0,04), предыдущее лечение (0,03), длительность нарушения уродинамики (0,03), стриктура мочеточника (0,03).

ОБСУЖДЕНИЕ

Помимо ПНЛ широко применяются в урологии и другие подходы к хирургическому лечению нефролитиаза, к ним можно отнести ДЛТ, ретроградную интратрениальную хирургию (РИРХ) и пиелолитотомию. Исследования для подбора оптимального хирургического лечения МКБ с применением нейронных алгоритмов описывались ранее в литературе [18]. Также существуют работы по применению ИИ для прогнозирования результатов литотрипсии и профилактики камнеобразования [19-21]. Интерес к ИИ в медицинском сообществе последние годы только возрастает, а увеличение печатных работ на данную тему может привести к значительным изменениям в рутинной работе врача.

Основной целью нашего исследования было создать упрощение логистики для госпитализации плановых пациентов, помочь врачу профилактировать развитие ранних послеоперационных осложнений. Для применения данной модели не требуется дополнительная лабораторная или инструментальная диагностика. База данных основана на стандартных обследованиях пациента при подготовке к хирургическому вмешательству.

Общая точность предсказания по каждому предиктору составила от 79% до 99,2%, при подсчете на тестовой выборке точность составила от 74,5% до 98,3%.

Клинические случаи, взятые в работу, не были типичными для большинства урологических отделений. Так большинство конкрементов было локализовано в лоханке (22,2%), а на втором месте были коралловидные конкременты К4 (12,7%).

Помимо этого, в выборку входило 11% аномалий развития ВМП и 13% аномалий и стриктур мочеточника и лоханочно-мочеточникового сегмента (ЛМС) от общего количества наблюдений. Специфика подбора наблюдений не создает сложность при дальнейшем использовании алгоритма на практике, а наоборот, позволяет благодаря сложным и нестандартным случаям точнее формировать прогноз при рутинном использовании. ■

При планировании госпитализаций в отделение и оборота коек, в расчет не берутся возможные дополнительные вмешательства, что нарушает порядок госпитализации и дает дополнительную нагрузку на систему здравоохранения. Необходимо отметить, что помощью алгоритмов искусственного интеллекта является возможность персонализированного прогноза для каждого клинического случая с минимальной затратой времени на обработку информации [22, 23]. Улучшение логистики в плановом стационаре, прогноз развития осложнений и потребности в дополнительных хирургических вмешательствах позволят

оптимизировать работу не только лечащего врача, но и всего отделения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дальнейшее развитие технологии ИИ не только даст «второе мнение» и сократит время обработки больших объемов информации, но также стандартизирует подход к лечению сложных клинических случаев и поможет оптимизировать работу урологического отделения. ■

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. Шестаев А.Ю., Протошак В.В., Паронников М.В., Киселев А.О. Комбинированный (цитратный и растительный) препарат уриklar в дистанционной литотрипсии и метафилактике мочекаменной болезни. *Урологические ведомости* 2018;8(1):19-25. [Shestayev A.YU., Protoshchak V.V., Paronnikov M.V., Kiselev A.O. Combined (citrate and herbal) drug Uriklar in extracorporeal shock wave lithotripsy and metaphylaxis of urolithiasis. *Urologicheskie vedomosti = Urology reports* 2018;8(1):19-25. (In Russian)]. <https://doi.org/10.17816/uoved8119-25>.
3. Zhou G, Zhou Y, Chen R, Wang D, Zhou S, Zhong J, et al. The influencing factors of infectious complications after percutaneous nephrolithotomy: a systematic review and meta-analysis. *Urolithiasis* 2022;51(1):17. <https://doi.org/10.1007/s00240-022-01376-5>.
4. Danilovic A, Torricelli FCM, Marchini GS, Batagello C, Vicentini FC, Traxer O, et al. Residual stone fragments after percutaneous nephrolithotomy: shock-wave lithotripsy vs retrograde intrarenal surgery. *J Endourol* 2021;35(5):609-14. <https://doi.org/10.1089/end.2020.0868>.
5. Barba HS, Villeda-Sandoval CI, Mendez-Probst CE. Frequency and risk factors for antegrade ureteral stone migration after percutaneous nephrolithotomy. *Cent European J Urol* 2020;73(3):355-61. <https://doi.org/10.5173/cej.2020.0023>.
6. Ziemba JB, Matlaga BR. Epidemiology and economics of nephrolithiasis. *Investig Clin Urol* 2017;58(5):299-306. <https://doi.org/10.4111/icu.2017.58.5.299>.
7. Roberson D, Sperling C, Shah A, Ziemba J. Economic considerations in the management of nephrolithiasis. *Curr Urol Rep* 2020;21(5):18. <https://doi.org/10.1007/s11934-020-00971-6>.
8. Loftus TJ, Filiberto AC, Li Y, Balch J, Cook AC, Tighe PJ, et al. Decision analysis and reinforcement learning in surgical decision-making. *Surgery* 2020;168(2):253-66. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2020.04.049>.
9. Henn J, Buness A, Schmid M, Kalf J, Matthaei H. Machine learning to guide clinical decision-making in abdominal surgery—a systematic literature review. *Langenbecks Arch Surg* 2022;407(1):51-61. <https://doi.org/10.1007/s00423-021-02348-w>.
10. Zou XC, Luo CW, Yuan RM, Jin MN, Zeng T, Chao HC. Develop a radiomics-based machine learning model to predict the stone-free rate post-percutaneous nephrolithotomy. *Urolithiasis* 2024;52(1):64. <https://doi.org/10.1007/s00240-024-01562-7>.
11. 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. [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. *Экспериментальная и Клиническая урология* = *Experimental and Clinical Urology* 2024;17(1):24-34. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2024-17-4-24-34>.
12. Guo HQ, Shi HL, Li XG, Gan WD, Zeng LQ, Liu GX, et al. Relationship between the intrapelvic perfusion pressure in minimally invasive percutaneous nephrolithotomy and postoperative recovery. *ZhonghuaWai Ke Za Zhi* 2008;46(1):52-4.
13. Guohua Z, Wen Z, Xun L, Wenzhong C, Yongzhong H, Zhaohui H, et al. The influence of minimally invasive percutaneous nephrolithotomy on renal pelvic pressure in vivo. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2007;17(4):307-10. <https://doi.org/10.1097/SLE.0b013e31806e61f4>.
14. Lorenzo Soriano L, Ordaz Jurado DG, Pérez Ardavin J, Budía Alba A, Bahilo Mateu P, Trassiera Villa M, López Acón D. Predictive factors of infectious complications in the postoperative of percutaneous nephrolithotomy. *Actas Urol Esp (Engl Ed)* 2019;43(3):131-6. <https://doi.org/10.1016/j.acuro.2018.05.009>.
15. Torricelli FCM, Monga M. Staghorn renal stones: what the urologist needs to know. *Int Braz J Urol* 2020;46(6):927-33. <https://doi.org/10.1590/s1677-5538.ibju.2020.99.07>.
16. Ganpule AP, Shah DH, Desai MR. Postpercutaneous nephrolithotomy bleeding: aetiology and management. *Curr Opin Urol* 2014;24(2):189-94. <https://doi.org/10.1097/MOU.000000000000025>.
17. Poudyal S. Current insights on haemorrhagic complications in percutaneous nephrolithotomy. *Asian J Urol* 2022;9(1):81-93. <https://doi.org/10.1016/j.ajur.2021.05.007>.
18. Ершов А.В., Неймарк А.И., Капсаргин Ф.П., Бережной А.Г., Винник Ю.Ю. Использование нейронных алгоритмов при выборе метода оперативного лечения мочекаменной болезни. *Урология* 2021;(4):47-52. [Ershov A.V., Neymark A.I., Kapsargin F.P., Berezhnoy A.G., Vinnik Y.Y. The use of neural algorithms when choosing a method of surgical treatment of urolithiasis. *Urologiya = Urologiia* 2021;(4):47-52. (In Russian)]. <https://doi.org/10.18565/urology.2021.4.47-52>.
19. Коцарь А.Г., Серёгин С.П., Новиков А.В. Автоматизированная система поддержки принятия решений уролога по прогнозированию и профилактике камнеобразования при мочекаменной болезни. *Урология* 2013;(5):16-20. [Kotsar A.G., Seregin S.P., Novikov A.V. Automated urologist decision support system for the prediction and prevention of stone formation in urolithiasis. *Urologiya = Urologiia* 2013;(5):16-20. (In Russian)].
20. Zhu XH, Yang MY, Xia HZ, He W, Zhang ZY, Liu YQ, et al. Application of machine learning models in predicting early stone free rate after flexible ureteroscopic lithotripsy for renal stones. *Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban* 2019;51(4):653-9. <https://doi.org/10.19723/j.issn.1671-167X.2019.04.010>.
21. Seckiner I, Seckiner S, Sen H, Bayrak O, Dogan K, Erturhan S. A neural network – based algorithm for predicting stone-free status after ESWL therapy. *Int Braz J Urol* 2017;43(6):1110-4. <https://doi.org/10.1590/S1677-5538>.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

22. Ханов А.М., Гусев А.В., Тюрганов А.Г. Искусственный интеллект в здравоохранении России: сбор и подготовка данных для машинного обучения. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения* 2023;9(4):7-13. [Khanov A.M., Gusev A.V., Tyurganov A.G. Artificial intelligence in Russian healthcare: data collection and preparation for machine learning. *Rossiyskiy zhurnal teleditsiny i elektronnoy zdravookhraneniya = Russian Journal of Telemedicine and Electronic Health* 2023;9(4):7-13. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2023-9-4-7-13>.
23. Пранович А.А., Исмаилов А.К., Карельская Н.А., Костин А.А., Кармазановский Г.Г., Грицкевич А.А. Искусственный интеллект в диагно-

- стике и лечении мочекаменной болезни. *Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения* 2022;8(1)42-57. [Pranovich A.A., Ismailov A.K., Karelskaya N.A., Kostin A.A., Karmazanovsky G.G., Gritskovich A.A. Artificial intelligence in the diagnosis and treatment of urolithiasis. *Russian Journal of Telemedicine and Electronic Health = Russian Journal of Telemedicine and Electronic Health* 2022;8(1)42-57. (In Russian)]. <https://doi.org/10.29188/2712-9217-2022-8-1-42-57>.

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

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, 35%
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%
Аполихин О.И. – концепция и дизайн исследования 10%
Каприн А.Д. – концепция и дизайн исследования 10%

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Исследование проведено без финансовой поддержки.

Статья поступила: 23.06.24

Результаты рецензирования: 29.07.24

Исправления получены: 07.08.24

Принята к публикации: 30.08.24

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

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, 35%
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%
Apolikhin O.I. – developing the research design 10%
Kaprin A.D. – developing the research design 10%

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

Financing. The article was published without financial support.

Received: 23.06.24

Peer review: 29.07.24

Corrections received: 07.08.24

Accepted for publication: 30.08.24