



## Использование искусственного интеллекта в диагностике, лечении и наблюдении за пациентами с раком почки

© Екатерина Ю. Тимофеева<sup>1</sup>, Камилла Р. Азильгареева<sup>1</sup>,  
Андрей О. Морозов<sup>1</sup>, Марк С. Тараткин<sup>1</sup>, Дмитрий В. Еникеев<sup>1, 2, 3</sup>

<sup>1</sup> Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова (Сеченовский Университет) [Москва, Россия]

<sup>2</sup> Венский медицинский университет [Вена, Австрия]

<sup>3</sup> Университет здравоохранения им. Карла Ландштейнера — Институт урологии и андрологии [Вена, Австрия]

### Аннотация

Искусственный интеллект (ИИ) получил большое развитие за последнее десятилетие и стал предметом активных дискуссий. Данная тенденция обусловлена тем, что системы ИИ постоянно улучшаются за счёт усиления их вычислительных возможностей, а также получения больших объёмов данных. Благодаря этому ИИ может помочь в диагностике и выборе наиболее эффективного лечения. Цель работы — проанализировать возможности ИИ в диагностике, лечении и наблюдении за пациентами с почечно-клеточным раком (ПКР). ИИ демонстрирует большие перспективы в диагностике опухолей мочевыделительной системы, в возможности дифференцировать доброкачественные и злокачественные образования (благодаря системам машинного обучения), а также в прогнозировании гистологического подтипа опухоли. ИИ может использоваться на интраоперационном этапе (благодаря интеграции виртуальных 3D-моделей при оперативных вмешательствах), что позволяет снизить частоту тепловой ишемии и повреждения собирательной системы почки. ИИ находит своё применение при гистопатологической оценке: модель ИИ достигает 100% чувствительности и 97,1% специфичности в дифференциальной диагностике нормальной ткани от ПКР. Алгоритмы моделей ИИ могут быть использованы для выявления пациентов с высоким риском рецидива, требующих длительного наблюдения, а также для разработки индивидуальных стратегий лечения и наблюдения. Все вышеперечисленное доказывает возможность применения ИИ на всех этапах ведения пациентов с ПКР. Внедрение ИИ в медицинскую практику открывает новые перспективы для интерпретации и понимания сложных данных, недоступных для клиницистов.

**Ключевые слова:** рак почки; искусственный интеллект; диагностика; лечение

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки. **Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Вклад авторов:** Е.Ю. Тимофеева, К.Р. Азильгареева — концепция обзора, анализ данных, написание текста рукописи; А.О. Морозов, М.С. Тараткин — анализ данных, критический обзор, научное редактирование; Д.В. Еникеев — анализ данных, критический обзор, научное редактирование, научное руководство.

✉ **Корреспондирующий автор:** Марк Сергеевич Тараткин; [marktaratkin@gmail.com](mailto:marktaratkin@gmail.com)

**Поступила в редакцию:** 25.05.2023. **Принята к публикации:** 08.08.2023. **Опубликована:** 26.09.2023.

**Для цитирования:** Тимофеева Е.Ю., Азильгареева К.Р., Морозов А.О., Тараткин М.С., Еникеев Д.В. Использование искусственного интеллекта в диагностике, лечении и наблюдении за пациентами с раком почки. *Вестник урологии*. 2023;11(3):142-148. DOI: 10.21886/2308-6424-2023-11-3-142-148.

## Use of artificial intelligence in the diagnosis, treatment and surveillance of patients with kidney cancer

© Ekaterina Y. Timofeeva<sup>1</sup>, Camilla R. Azilgareeva<sup>1</sup>, Andrey O. Morozov<sup>1</sup>,  
Mark S. Taratkin<sup>1</sup>, Dmitry V. Enikeev<sup>1, 2, 3</sup>

<sup>1</sup> I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University) [Moscow, Russian Federation]

<sup>2</sup> Medical University of Vienna [Vienna, Austria]

<sup>3</sup> Karl Landsteiner University of Health Sciences — Institute of Urology and Andrology [Vienna, Austria]

### Abstract

Currently, artificial intelligence (AI) has developed greatly and has become the subject of active discussions. This is because artificial intelligence systems are constantly being improved by expanding their computing capabilities, as

well as obtaining massive data. Due to this, AI can help to set a diagnosis and select the most effective treatment. The study aimed to analyse the possibilities of AI in the diagnosis, treatment and monitoring of patients with renal cell carcinoma (RCC). AI shows great prospects in the diagnosis urinary system lesions, in the ability to differentiate benign and malignant neoplasm (due to machine learning systems), as well as in predicting the histological subtype of the tumor. AI can be used at the intraoperative stage (thanks to the integration of virtual 3D models during surgical interventions), which reduces the frequency of thermal ischemia and damage to the kidney cavity system. AI finds its application in histopathological evaluation: the AI model reaches 100.0% sensitivity and 97.1% specificity in the differential diagnosis of normal tissue from RCC. AI model algorithms may be used to identify patients at high risk of relapse requiring long-term follow-up, as well as to develop individual treatment and follow-up strategies. All the above proves the possibility of using AI in all stages of the management of patients with RCC. The implementation of AI in medical practise opens new perspectives for the interpretation and understanding of complex data inaccessible to clinicians.

**Keywords:** kidney cancer; artificial intelligence; diagnosis; treatment

**Financing.** The study was not sponsored. **Conflict of interest.** The authors declare no conflicts of interest. **Authors' contribution:** E.Yu. Timofeeva, K.R. Azilgareeva — review concept, data analysis, drafting manuscript; A.O. Morozov, M.S. Taratkin — data analysis, critical review, scientific editing; D.V. Enikeev — data analysis, critical review, scientific editing, scientific guidance.

✉ **Corresponding author:** Mark S. Taratkin; marktaratkin@gmail.com

**Received:** 05/25/2023. **Accepted:** 08/08/2023. **Published:** 09/26/2023.

**For citation:** Timofeeva E.Yu., Azilgareeva K.R., Morozov A.O., Taratkin M.S., Enikeev D.V. Use of artificial intelligence in the diagnosis, treatment and surveillance of patients with kidney cancer. *Urology Herald*. 2023;11(3):142-148. (In Russ.). DOI: 10.21886/2308-6424-2023-11-3-142-148.

## Введение

Ежегодно в мире частота выявляемости почечно-клеточного рака (ПКР) увеличивается на 2%, причём в 60% случаев новообразование является случайной находкой [1, 2]. Согласно данным последних исследований, при гистологической оценке около 10 – 17% опухолей почек оказывается доброкачественными [3, 4]. Это обусловлено тем, что на данный момент не разработаны клинические и рентгенологические признаки, которые позволили бы точно предсказать гистологию образования: дифференцировать ангиомиолипомы и онкоцитомы от ПКР, различать подтипы ПКР. Таким образом необходимо совершенствовать методы лучевой диагностики ПКР для получения высокой диагностической точности при подборе адекватного лечения и оценке прогноза ответа опухоли на терапию [5].

Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в клиническую практику, вероятно, позволит нивелировать имеющиеся недостатки. ИИ представляет собой технологию вычислительной обработки данных, которая способна имитировать интеллектуальные процессы человека (такие как рассуждение, обучение, запоминание и решение определённых задач) [6, 7]. Этот подход объединяет принципы математики, логики, статистики [8, 9].

Для эффективной работы ИИ необходима обширная база данных, содержащая не

только исходные характеристики пациентов (возраст, сопутствующие заболевания и другие), но и любые задокументированные на протяжении всего процесса лечения данные (хирургические видео, положение бригады вокруг операционного стола, показатели внутрибрюшного давления, кровопотеря во время операции и так далее) [10]. Важно понимать, что качество модели ИИ напрямую зависит от качества и разнообразия доступных данных, на базе которых система обучается.

**Цель исследования.** Проанализировать возможности ИИ в диагностике, лечении и наблюдении за пациентами с почечно-клеточным раком (ПКР).

## Алгоритм литературного поиска

Для поиска статей использовались базы данных Scopus, MEDLINE, Google Scholar. Поиск проводился с использованием ключевых слов, таких как «рак почки», «искусственный интеллект», «диагностика», «лечение». Хронологические ограничения не применялись.

## ИИ в лучевой диагностике опухолей почек

Для обнаружения ПКР используются различные методы визуализации. Среди них основным скрининговым методом является УЗ-диагностика, которая позволяет отличить солидные и кистозные образования.

Стандартом при диагностике ПКР является КТ с внутривенным контрастированием [11]. Чувствительность этого метода для обнаружения опухолей почек составляет около 90% и выше [12]. Однако необходимо отметить, что интерпретация результатов методов визуализации зависит от субъективной оценки и опыта врача-радиолога [13]. Избежать этой неоднозначной оценки позволяет радиомика, которая включает в себя воксельный, текстурный и гистограммный анализы. Перечисленные методы основаны на оценке степени неоднородности изображений и используются для извлечения дополнительной информации из КТ или МРТ [14, 15]. Данная система заранее следует определённым алгоритмам оценки изображения интересующего очага, сегментации (компьютерное обнаружение границ с последующей ручной корректировкой), а также извлечения количественной информации. Инновационный подход применяется в онкологии для диагностики, прогностической оценки, а также мониторинга ответа на лечение [16].

Одной из основных задач в диагностике ПКР является возможность дифференцирования доброкачественных и злокачественных образований.

J. Mühlbauer et al. (2021) провели систематический обзор и мета-анализ, который продемонстрировал многообещающие результаты в отношении дифференциальной диагностики ангиомиолипом и онкоцитом от ПКР: отношение шансов 2,89 (95% ДИ 2,40 – 3,39;  $p < 0,001$ ), 3,08 (95% ДИ 2,09 – 4,06;  $p < 0,001$ ) [17]. Y. Ma et al. (2020) проанализировали данные 84 гистопатологических исследований образований почек и показали, что оценка, основанная на радиомике, превосходит обычный КТ-анализ [18]. Исследование V. Goh et al. (2011) посвящено наблюдению за 39 пациентами с метастатическим ПКР, получающими системную терапию. Авторы оценили изображения почек до начала терапии и после с помощью текстурного анализа, а также по шкале RECIST. Регрессионный анализ Кокса показал, что однородность текстуры при КТ является независимым предиктором времени до прогрессирования (отношение шансов 4,02; ДИ 95% 1,52 – 10,65;  $p = 0,005$ ). Таким образом, авторы заключили: чем больше гетерогенность опухоли, по данным текстурного анализа, тем выше шанс

прогрессирования [19].

Несмотря на возможность оценки радиомикой больших объёмов данных, её ограничение заключается в необходимости ручного выделения ключевых показателей. Алгоритмы машинного и глубокого обучения (МО и ГО) могут автоматизировать этот процесс. В исследовании Y. Li et al. (2020) использованы многофазные компьютерные томограммы для дифференциальной диагностики хромофобного рака почки и онкоцитомы. Применённые алгоритмы МО продемонстрировали высокую диагностическую точность (показатель площади под кривой (AUC) составляет более 0,85) [20]. В анализе N. Nassiri et al. (2022) представлен алгоритм, созданный с помощью радиомики и МО (AUC 0,84) [21]. Q. Xu et al. (2022) в качестве дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных образований использовали модели, основанные на комбинировании радиомики и ГО. Данное сочетание продемонстрировало более точные результаты по сравнению с анализом, выполненным радиологами (AUC 0,925 и 0,826 и AUC 0,724 и 0,667 соответственно) [3]. Систематический обзор 30 исследований по применению ИИ для диагностики опухолей почек, проведённый B. Kocak et al. (2020), подчёркивает важность внедрения ИИ в клиническую практику [22].

### Интраоперационное применение ИИ

На интраоперационном этапе алгоритмы ИИ могут быть полезны для распознавания и визуализации таких структур, как опухоль почки (особенно при интратанальных образованиях), почечных сосудов, мочеточников и прилежащих органов (кишечник, печень, селезёнка) [23]. Интраоперационно регистрируемые параметры также могут помочь предсказать риск развития тех или иных осложнений в послеоперационном периоде. Согласно исследованию P.W. Doyle et al. (2022), оптимальная система ИИ должна постоянно адаптироваться к меняющейся интраоперационной среде [24]. К сожалению, современные технологии ещё не позволяют воплотить это в реальность. Однако все больше работ направлены на реализацию этого потенциала.

Одно из направлений применения ИИ в хирургии — наложение виртуальных 3D-моделей во время робот-ассистированной резекции почки (РА-РП)

[25 – 27]. В исследовании F. Porpiglia et al. (2020) сравнивали интраоперационное использование трёхмерных систем дополненной реальности (3D-ДР) при обнаружении опухолей и внутривидеочисных структур во время РА-РП со стандартным интраоперационным УЗИ. Использование 3D-РП-навигации позволило снизить частоту тепловой ишемии (45,8% в группе 3D-АР против 69,7% в группе УЗИ;  $p = 0,03$ ), повреждения собирающей системы (10,4% против 45,5%;  $p = 0,003$ ), а также провести более точную энуклеацию образования (62,5% против 37,5% в группах 3D-АР и УЗИ соответственно;  $p = 0,02$ ) [28]. В работе M.S. Nosrati et al. (2016) описана техника расширения эндоскопического обзора хирурга путём сегментации видимых и закрытых структур. С этой целью модель МО была обучена распознавать цветовые и текстурные паттерны и таким образом различать ткани. Метод был использован при РА-РП и показал улучшение точности на 45% [29].

### ИИ для обнаружения и интерпретации в патологии

Одна из точек приложения ИИ — патологоанатомическая оценка. Исследования демонстрируют, что модели ИИ могут превзойти заключения патологоанатомов. [30, 31]. В работе M. Lee et al. (2021) подчёркивают потенциал моделей ИИ — возможность снижение систематической ошибки [32].

В исследовании S. Tabibu et al. (2019) использованы сверточные нейронные сети для дифференциальной диагностики светлоклеточного и хромофобного подтипов ПКР [33]. Авторами достигнуто значение AUC 0,98 для светлоклеточного ПКР и AUC 0,95 — для хромофобного ПКР. Более того, исследователями разработан индекс риска, основанный на форме и особенностях ядер, который позволяет прогнозировать увеличение выживаемости пациентов [33].

В другом исследовании K. Tian et al. (2019) использована обученная модель для предсказания степени злокачественности светлоклеточного ПКР (по Фурману). Точность финальных моделей достигает от 0,781 до 0,839 AUC (в зависимости от метода МО) [34].

О подобных подходах сообщено и другими исследовательскими группами. M. Fenstermaker et al. (2020) обучена модель ИИ на основе окрашенных изображений

с целью дифференцировки нормальной ткани и ПКР. Модель ИИ достигает 100% чувствительности и 97,1% специфичности [35].

### ИИ в прогнозировании отдалённых результатов

Прогнозирование общей выживаемости, риска рецидива и других исходов у больных раком почки может быть полезно для разработки индивидуальных планов лечения и наблюдения за пациентами. Так, например, в работе Z-E. Khene et al. (2022) протестирована модель на основе МО с использованием стандартных клинико-патологических характеристик пациентов, перенёсших радикальную нефрэктомия по поводу неметастатического ПКР. Авторы провели сравнение стандартных моделей с МО. В исследование включено 4067 пациентов (3253 — в когорте новой модели, 814 — в группе стандартной модели). Большинство опухолей (69%) — светлоклеточный ПКР; у 4% пациентов отмечалось поражение лимфатических узлов. Медиана наблюдения составила 57 месяцев; рецидив возник у 523 (13%) пациентов. Новая модель на основе МО продемонстрировала высокую прогностическую ценность по сравнению со стандартными моделями (C-index 0,794 — показатель, отражающий прогностическую ценность). Более того, анализ кривой принятия врачебных решений также показал преимущество модели МО [36].

H.M. Kim et al. (2021) представили исследование, направленное на разработку модели прогнозирования позднего рецидива после хирургического лечения пациентов с ПКР [37]. Работа основана на данных более 2900 пациентов. Полученный алгоритм показывает чувствительность — 0,673, специфичность — 0,807, точность — 0,799, площадь под кривой — 0,740 [38]. Данный алгоритм может использоваться клиницистами для выявления пациентов с высоким риском позднего рецидива, требующих длительного наблюдения, а также для разработки индивидуальных стратегий лечения и наблюдения.

### Заключение

Применение ИИ в урологии открывает новые перспективы для интерпретации и понимания сложных данных, недоступных для клиницистов. Внедрение ИИ может осуществляться на каждом этапе ведения



пациента с ПКР: при диагностике, во время предоперационной подготовки, в период оказания интраоперационной поддержки специалистов, при проведении оценки гистологических результатов, а также в процессе последующего наблюдения. Кроме того, внедрение ИИ позволяет оптимизировать диагностические и терапевтические решения и в последующем, вероятно, по-

зволяет повысить качество оказания медицинской помощи (в частности, для пациентов с ПКР). Однако уровень интеграции моделей ИИ в клиническую практику на данный момент невелик и требует междисциплинарного сотрудничества между урологами, радиологами, математиками и патологами.

#### Список литературы | References

1. Ferlay J, Colombet M, Soerjomataram I, Dyba T, Randi G, Bettio M, Gavin A, Visser O, Bray F. Cancer incidence and mortality patterns in Europe: Estimates for 40 countries and 25 major cancers in 2018. *Eur J Cancer*. 2018;103:356-387. DOI: 10.1016/j.ejca.2018.07.005
2. Thorstenson A, Bergman M, Scherman-Plogell AH, Hosseinnia S, Ljungberg B, Adolfsson J, Lundstam S. Tumour characteristics and surgical treatment of renal cell carcinoma in Sweden 2005-2010: a population-based study from the national Swedish kidney cancer register. *Scand J Urol*. 2014;48(3):231-8. DOI: 10.3109/21681805.2013.864698
3. Xu Q, Zhu Q, Liu H, Chang L, Duan S, Dou W, Li S, Ye J. Differentiating Benign from Malignant Renal Tumors Using T2- and Diffusion-Weighted Images: A Comparison of Deep Learning and Radiomics Models Versus Assessment from Radiologists. *J Magn Reson Imaging*. 2022;55(4):1251-1259. DOI: 10.1002/jmri.27900
4. Enikeev D, Morozov A, Bazarkin A, Shpikina A, Brill B, Teoh JY, Suvorov A, Singla N, Taratkin M, Rivas JG, Barret E; ESUT Ablative Group. Thermal ablation vs. active surveillance for renal masses: a systematic review and network meta-analysis. *Minerva Urol Nephrol*. 2023;75(2):154-162. DOI: 10.23736/S2724-6051.22.05036-4
5. Rabinowitz MJ, Esfandiary T, Cheaib J, Patel SH, Alam R, Metcalf M, Enikeev D, Pierorazio PM, Ged YMA, Allaf ME, Singla N. Characterizing Tumor Thrombus Arising from Non-Clear Cell Renal Cell Carcinoma. *Eur Urol Open Sci*. 2022;43:28-34. DOI: 10.1016/j.euros.2022.07.001
6. Watson DS, Krutzinna J, Bruce IN, Griffiths CE, McInnes IB, Barnes MR, Floridi L. Clinical applications of machine learning algorithms: beyond the black box. *BMJ*. 2019;364:l886. DOI: 10.1136/bmj.l886
7. Roberts S, Desai A, Checcucci E, Puliatti S, Taratkin M, Kowalewski KF, Gomez Rivas J, Rivero I, Veneziano D, Autorino R, Porpiglia F, Gill IS, Cacciamani GE. "Augmented reality" applications in urology: a systematic review. *Minerva Urol Nephrol*. 2022;74(5):528-537. DOI: 10.23736/S2724-6051.22.04726-7
8. Hameed BMZ, S Dhavileswarapu AVL, Raza SZ, Karimi H, Khanuja HS, Shetty DK, Ibrahim S, Shah MJ, Naik N, Paul R, Rai BP, Somani BK. Artificial Intelligence and Its Impact on Urological Diseases and Management: A Comprehensive Review of the Literature. *J Clin Med*. 2021;10(9):1864. DOI: 10.3390/jcm10091864
9. Gómez Rivas J, Toribio Vázquez C, Ballesteros Ruiz C, Taratkin M, Marenco JL, Cacciamani GE, Checcucci E, Okhunov Z, Enikeev D, Esperto F, Grossmann R, Somani B, Veneziano D. Artificial intelligence and simulation in urology. *Actas Urol Esp (Engl Ed)*. 2022;45(8):524-529. (In English, Spanish). DOI: 10.1016/j.acuroe.2021.07.001
10. Garrow CR, Kowalewski KF, Li L, Wagner M, Schmidt MW, Engelhardt S, Hashimoto DA, Kenngott HG, Bodenstedt S, Speidel S, Müller-Stich BP, Nickel F. Machine Learning for Surgical Phase Recognition: A Systematic Review. *Ann Surg*. 2021;273(4):684-693. DOI: 10.1097/SLA.0000000000004425
11. Tsili AC, Andriotis E, Gkeli MG, Krokidis M, Stasinopoulou M, Varkarakis IM, Mouloupoulos LA; Oncologic Imaging Subcommittee Working Group of the Hellenic Radiological Society. The role of imaging in the management of renal masses. *Eur J Radiol*. 2021;141:109777. DOI: 10.1016/j.ejrad.2021.109777
12. Kaur R, Juneja M, Mandal AK. An overview of non-invasive imaging modalities for diagnosis of solid and cystic renal lesions. *Med Biol Eng Comput*. 2020;58(1):1-24. DOI: 10.1007/s11517-019-02049-z
13. Tanaka T, Huang Y, Marukawa Y, Tsuboi Y, Masaoka Y, Kojima K, Iguchi T, Hiraki T, Gohara H, Yanai H, Nasu Y, Kanazawa S. Differentiation of Small ( $\leq 4$  cm) Renal Masses on Multiphase Contrast-Enhanced CT by Deep Learning. *AJR Am J Roentgenol*. 2020;214(3):605-612. Erratum in: *AJR Am J Roentgenol*. 2020;214(4):945. PMID: 31913072. DOI: 10.2214/AJR.19.22074
14. Ursprung S, Beer L, Bruining A, Woitek R, Stewart GD, Gallagher FA, Sala E. Radiomics of computed tomography and magnetic resonance imaging in renal cell carcinoma-a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol*. 2020;30(6):3558-3566. DOI: 10.1007/s00330-020-06666-3
15. Гордуладзе Д.Н., Сирота Е.С., Рапопорт Л.М., Гридин В.Н., Цариченко Д.Г., Кузнецов И.А., Бочкарев П.В., Аляев Ю.Г. Возможности текстурного анализа лучевых методов визуализации в диагностике образований паренхимы почки. *Онкоурология*. 2021;17(4):129-135. Gorduladze D.N., Sirota E.S., Rapoport L.M., Gridin V.N., Tsarichenko D.G., Kuznetsov I.A., Bochkaryov P.V., Alyaev Yu.G. Prospects of texture analysis in radiological imaging for diagnosis of renal parenchyma tumor. *Cancer Urology*. 2021;17(4):129-135. (In Russian). DOI: 10.17650/1726-9776-2021-17-4-129-135
16. Gillies RJ, Kinahan PE, Hricak H. Radiomics: Images Are More than Pictures, They Are Data. *Radiology*. 2016;278(2):563-77. DOI: 10.1148/radiol.2015151169
17. Mühlbauer J, Egen L, Kowalewski KF, Grilli M, Walach MT, Westhoff N, Nuhn P, Laqua FC, Baessler B, Kriegmair MC.

- Radiomics in Renal Cell Carcinoma-A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cancers* (Basel). 2021;13(6):1348. DOI: 10.3390/cancers13061348
18. Ma Y, Cao F, Xu X, Ma W. Can whole-tumor radiomics-based CT analysis better differentiate fat-poor angiomyolipoma from clear cell renal cell carcinoma: compared with conventional CT analysis? *Abdom Radiol* (NY). 2020;45(8):2500-2507. DOI: 10.1007/s00261-020-02414-9
19. Goh V, Ganeshan B, Nathan P, Juttla JK, Vinayan A, Miles KA. Assessment of response to tyrosine kinase inhibitors in metastatic renal cell cancer: CT texture as a predictive biomarker. *Radiology*. 2011;261(1):165-71. DOI: 10.1148/radiol.11110264
20. Li Y, Huang X, Xia Y, Long L. Value of radiomics in differential diagnosis of chromophobe renal cell carcinoma and renal oncocytoma. *Abdom Radiol* (NY). 2020;45(10):3193-3201. DOI: 10.1007/s00261-019-02269-9
21. Nassiri N, Maas M, Cacciamani G, Varghese B, Hwang D, Lei X, Aron M, Desai M, Oberai AA, Cen SY, Gill IS, Duddalwar VA. A Radiomic-based Machine Learning Algorithm to Reliably Differentiate Benign Renal Masses from Renal Cell Carcinoma. *Eur Urol Focus*. 2022;8(4):988-994. DOI: 10.1016/j.euf.2021.09.004
22. Kocak B, Kaya OK, Erdim C, Kus EA, Kilickesmez O. Artificial Intelligence in Renal Mass Characterization: A Systematic Review of Methodologic Items Related to Modeling, Performance Evaluation, Clinical Utility, and Transparency. *AJR Am J Roentgenol*. 2020;215(5):1113-1122. DOI: 10.2214/AJR.20.22847
23. Piramide F, Kowalewski KF, Cacciamani G, Rivero Belenchon I, Taratkin M, Carbonara U, Marchioni M, De Groote R, Knipper S, Pecoraro A, Turri F, Dell'Oglio P, Puliatti S, Amparore D, Volpi G, Campi R, Larcher A, Motttrie A, Breda A, Minervini A, Ghazi A, Dasgupta P, Gozen A, Autorino R, Fiori C, Di Dio M, Gomez Rivas J, Porpiglia F, Checcucci E; European Association of Urology Young Academic Urologists and the European Section of Uro-Technology. Three-dimensional Model-assisted Minimally Invasive Partial Nephrectomy: A Systematic Review with Meta-analysis of Comparative Studies. *Eur Urol Oncol*. 2022;5(6):640-650. DOI: 10.1016/j.euo.2022.09.003
24. Doyle PW, Kavoussi NL. Machine learning applications to enhance patient specific care for urologic surgery. *World J Urol*. 2022;40(3):679-686. DOI: 10.1007/s00345-021-03738-x
25. Amparore D, Pecoraro A, Checcucci E, Piramide F, Verri P, De Cillis S, Granato S, Angusti T, Solitro F, Veltri A, Fiori C, Porpiglia F. Three-dimensional Virtual Models' Assistance During Minimally Invasive Partial Nephrectomy Minimizes the Impairment of Kidney Function. *Eur Urol Oncol*. 2022;5(1):104-108. DOI: 10.1016/j.euo.2021.04.001
26. Schiavina R, Bianchi L, Chessa F, Barbaresi U, Cercenelli L, Lodi S, Gaudiano C, Bortolani B, Angiolini A, Bianchi FM, Ercolino A, Casablanca C, Molinaroli E, Porreca A, Golfieri R, Diciotti S, Marcelli E, Brunocilla E. Augmented Reality to Guide Selective Clamping and Tumor Dissection During Robot-assisted Partial Nephrectomy: A Preliminary Experience. *Clin Genitourin Cancer*. 2021;19(3):e149-e155. DOI: 10.1016/j.clgc.2020.09.005
27. Puliatti S, Eissa A, Checcucci E, Piazza P, Amato M, Ferretti S, Scarcella S, Rivas JG, Taratkin M, Marengo J, Rivero IB, Kowalewski KF, Cacciamani G, El-Sherbiny A, Zoeir A, El-Bahnasy AM, De Groote R, Motttrie A, Micali S. New imaging technologies for robotic kidney cancer surgery. *Asian J Urol*. 2022;9(3):253-262. DOI: 10.1016/j.ajur.2022.03.008
28. Porpiglia F, Checcucci E, Amparore D, Piramide F, Volpi G, Granato S, Verri P, Manfredi M, Bellin A, Piazzolla P, Autorino R, Morra I, Fiori C, Motttrie A. Three-dimensional Augmented Reality Robot-assisted Partial Nephrectomy in Case of Complex Tumours (PADUA  $\geq 10$ ): A New Intraoperative Tool Overcoming the Ultrasound Guidance. *Eur Urol*. 2020;78(2):229-238. DOI: 10.1016/j.eururo.2019.11.024
29. Nosrati MS, Amir-Khalili A, Peyrat JM, Abinahed J, Al-Alao O, Al-Ansari A, Abugharbieh R, Hamarneh G. Endoscopic scene labelling and augmentation using intraoperative pulsatile motion and colour appearance cues with preoperative anatomical priors. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2016;11(8):1409-18. DOI: 10.1007/s11548-015-1331-x
30. Morozov A, Taratkin M, Bazarkin A, Rivas JG, Puliatti S, Checcucci E, Belenchon IR, Kowalewski KF, Shpikina A, Singla N, Teoh JYC, Kozlov V, Rodler S, Piazza P, Fajkovic H, Yakimov M, Abreu AL, Cacciamani GE, Enikeev D; Young Academic Urologists (YAU) Working Group in Uro-technology of the European Association of Urology. A systematic review and meta-analysis of artificial intelligence diagnostic accuracy in prostate cancer histology identification and grading. *Prostate Cancer Prostatic Dis*. 2023. Epub ahead of print. PMID: 37185992. DOI: 10.1038/s41391-023-00673-3.
31. Nagpal K, Foote D, Tan F, Liu Y, Chen PC, Steiner DF, Manoj N, Olson N, Smith JL, Mohtashamian A, Peterson B, Amin MB, Evans AJ, Sweet JW, Cheung C, van der Kwast T, Sangoi AR, Zhou M, Allan R, Humphrey PA, Hipp JD, Gadepalli K, Corrado GS, Peng LH, Stumpe MC, Mermel CH. Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Gleason Grading of Prostate Cancer From Biopsy Specimens. *JAMA Oncol*. 2020;6(9):1372-1380. DOI: 10.1001/jamaoncol.2020.2485
32. Lee M, Wei S, Anaokar J, Uzzo R, Kutikov A. Kidney cancer management 3.0: can artificial intelligence make us better? *Curr Opin Urol*. 2021;31(4):409-415. DOI: 10.1097/MOU.0000000000000881
33. Tabibu S, Vinod PK, Jawahar CV. Pan-Renal Cell Carcinoma classification and survival prediction from histopathology images using deep learning. *Sci Rep*. 2019;9(1):10509. DOI: 10.1038/s41598-019-46718-3
34. Tian K, Rubadue CA, Lin DI, Veta M, Pyle ME, Irshad H, Heng YJ. Automated clear cell renal carcinoma grade classification with prognostic significance. *PLoS One*. 2019;14(10):e0222641. DOI: 10.1371/journal.pone.0222641
35. Fenstermaker M, Tomlins SA, Singh K, Wiens J, Morgan TM. Development and Validation of a Deep-learning Model to Assist With Renal Cell Carcinoma Histopathologic Interpretation. *Urology*. 2020;144:152-157. DOI: 10.1016/j.urology.2020.05.094
36. Khene ZE, Bigot P, Doumerc N, Ouzaid I, Boissier R, Nouhaud FX, Albiges L, Bernhard JC, Ingels A, Borchiellini D, Kammerer-Jacquet S, Rioux-Leclercq N, Roupert M, Acosta O, De Crevoisier R, Bensalah K; Collaborators. Application of Machine Learning Models to Predict Recurrence After Surgical Resection of Nonmetastatic Renal Cell Carcinoma. *Eur Urol Oncol*. 2023;6(3):323-330. DOI: 10.1016/j.euo.2022.07.007

37. Kim H, Lee SJ, Park SJ, Choi IY, Hong SH. Machine Learning Approach to Predict the Probability of Recurrence of Renal Cell Carcinoma After Surgery: Prediction Model Development Study. JMIR Med Inform. 2021;9(3):e25635. DOI: 10.2196/25635
38. Kim HM, Byun SS, Kim JK, Jeong CW, Kwak C, Hwang

EC, Kang SH, Chung J, Kim YJ, Ha YS, Hong SH. Machine learning-based prediction model for late recurrence after surgery in patients with renal cell carcinoma. BMC Med Inform Decis Mak. 2022;22(1):241. DOI: 10.1186/s12911-022-01964-w

#### Сведения об авторах

**Екатерина Юрьевна Тимофеева** — студентка Института клинической медицины им. Н. В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)

Москва, Россия

<https://orcid.org/0009-0002-0387-0768>

[katetimofoeva\\_04@mail.ru](mailto:katetimofoeva_04@mail.ru)

**Камилла Руслановна Азильгареева** — студентка Института клинической медицины им. Н. В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)

Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-7096-7423>

[camilla.azilgareeva@yandex.ru](mailto:camilla.azilgareeva@yandex.ru)

**Андрей Олегович Морозов** — канд. мед. наук; врач-уролог и старший научный сотрудник Института урологии и репродуктивного здоровья человека ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)

Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-6694-837X>

[andrei.o.morozov@gmail.com](mailto:andrei.o.morozov@gmail.com)

**Марк Сергеевич Тараткин** — врач-уролог; научный сотрудник Института урологии и репродуктивного здоровья человека ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)

Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-4369-173X>

[marktaratkin@gmail.com](mailto:marktaratkin@gmail.com)

**Дмитрий Викторович Еникеев** — д-р мед. наук, профессор; профессор Института урологии и репродуктивного здоровья человека ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)

Москва, Россия

Доцент кафедры урологии Венского медицинского университета; доцент института урологии и андрологии им. Карла Ландштайнера

Вена, Австрия

<https://orcid.org/0000-0001-7169-2209>

[dvenikeev@gmail.com](mailto:dvenikeev@gmail.com)

#### Information about the authors

**Ekaterina Yu. Timofeeva** — Student, Sklifosovsky Institute for Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Moscow, Russian Federation

<https://orcid.org/0009-0002-0387-0768>

[katetimofoeva\\_04@mail.ru](mailto:katetimofoeva_04@mail.ru)

**Camilla R. Azilgareeva** — Student, Sklifosovsky Institute for Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Moscow, Russian Federation

<https://orcid.org/0000-0002-7096-7423>

[camilla.azilgareeva@yandex.ru](mailto:camilla.azilgareeva@yandex.ru)

**Andrey O. Morozov** — M.D., Cand.Sc.(Med); Urologist & Senior researcher, Institute for Urology and Reproductive Health, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Moscow, Russian Federation

<https://orcid.org/0000-0001-6694-837X>

[andrei.o.morozov@gmail.com](mailto:andrei.o.morozov@gmail.com)

**Mark S. Taratkin** — M.D., Urologist & Researcher, Institute for Urology and Reproductive Health, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Moscow, Russian Federation

<https://orcid.org/0000-0003-4369-173X>

[marktaratkin@gmail.com](mailto:marktaratkin@gmail.com)

**Dmitry V. Enikeev** — M.D., Cand.Sc.(Med), Prof.; Prof., Institute for Urology and Reproductive Health, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Moscow, Russian Federation

Adjunct Prof., Dept. of Urology and Comprehensive Cancer Centre, Medical University of Vienna | MedUni Vienna; Adjunct Prof., Karl Landsteiner Institute of Urology and Andrology

Vienna, Austria

<https://orcid.org/0000-0001-7169-2209>

[dvenikeev@gmail.com](mailto:dvenikeev@gmail.com)