



Цифровая аналитическая платформа вероятности 3D-визуального и 3D-ультраструктурного состояния органов мочевой системы (пилотное исследование)

©Б.А. Бердичевский^{1*}, Г.В. Зубик¹, А.Р. Гоняев², И.В. Павлова¹, Д.А. Учаев³, М.А. Корабельников⁴

¹Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия

²Клинический госпиталь «Мать и дитя», Тюмень, Россия

³Научно-образовательный центр «Нанотехнологии» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», Челябинск, Россия

⁴Радиологический центр ГАУЗ ТО МКМЦ «Медицинский город», Тюмень, Россия

* Б.А. Бердичевский, Тюменский государственный медицинский университет, 625023, Тюмень, ул. Одесская, 54, doktor_bba@mail.ru

Поступила в редакцию 20 октября 2025 г. Исправлена 10 апреля 2026 г. Принята к печати 18 апреля 2026 г.

Резюме

Актуальность: Воспалительные заболевания органов мочевой системы остаются одной из значимых клинических проблем в урологии. Современные методы диагностики ограничены в возможности качественной и количественной оценки морфологических и функциональных изменений на молекулярном и ультраструктурном уровнях. Это обуславливает необходимость разработки комплексных цифровых инструментов для улучшения диагностики и мониторинга воспалительных процессов.

Цель: Разработка цифровой аналитической платформы для ретроспективной оценки вероятного 3D-визуального и 3D-ультраструктурного состояния органов мочевой системы на основе данных ПЭТ/КТ всего тела у пациентов с воспалительными заболеваниями почек и мочевого пузыря.

Материалы и методы: Пилотное исследование включало 8 пациентов, разделённых на две группы: с воспалительными заболеваниями почек и с воспалительными заболеваниями мочевого пузыря. Использовались данные ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ и 11С-холином, 3D-анатомическая реконструкция, а также 3D-ультраструктурный анализ с применением сканирующей электронной микроскопии. Результаты сопоставлялись с клиническими и морфологическими показателями.

Результаты: Выявлена взаимосвязь между показателями стандартизированного уровня захвата (SUVmax) радиофармпрепаратов, 3D-анатомическими и 3D-ультраструктурными изменениями в почках и стенке мочевого пузыря, отражающими активность бактериального воспаления. Разработаны схемы клинической навигации, позволяющие врачам без специальной подготовки оценивать вероятное состояние органов мочевой системы по цифровым показателям ПЭТ/КТ.

Заключение: Разработанная цифровая аналитическая платформа позволяет интегрировать функциональную ПЭТ/КТ-визуализацию с 3D-ультраструктурным анализом, что способствует улучшению диагностики и персонализации лечения воспалительных заболеваний мочевой системы.

Ключевые слова: ПЭТ/КТ, 3D-визуализация, ультраструктура, воспалительные заболевания, органы мочевой системы

Цитировать: Бердичевский Б.А., Зубик Г.В., Гоняев А.Р., Павлова И.В., Учаев Д.А., Корабельников М.А. Цифровая аналитическая платформа вероятности 3D-визуального и 3D-ультраструктурного состояния органов мочевой системы (пилотное исследование). *Инновационная медицина Кубани*. 2026;11(2):38–45. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2026-11-2-38-45>

Digital Analytical Platform for Probabilistic Assessment of 3D Visual and 3D Ultrastructural Status of Urinary System Organs (Pilot Study)

Boris A. Berdichevskiy^{1*}, Grigory V. Zubik¹, Artem R. Gonyaev², Irina V. Pavlova¹,
Daniil A. Uchaev³, Mikhail A. Korabelnikov⁴

¹Tyumen State Medical University, Tyumen, Russian Federation

²Clinical Hospital "Mother and Child", Tyumen, Russian Federation

³Research and Education Center "Nanotechnologies", South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

⁴Multidisciplinary Clinical Medical Centre "Medical City", Tyumen, Russian Federation

* Boris A. Berdichevsky, Tyumen State Medical University, 54 Odesskaya St., Tyumen, 625023, Russian Federation, doktor_bba@mail.ru

Received: October 20, 2025. Received in revised form: April 10, 2026. Accepted: April 18, 2026.



Abstract

Background: Inflammatory diseases of the urinary system remain a significant clinical challenge in urology. Current diagnostic methods are limited in their ability to provide qualitatively and quantitatively assessment of morphological and functional changes at the molecular and ultrastructural levels. The development of comprehensive digital tools is necessary to improve the diagnosis and monitoring of inflammatory processes.

Objective: To develop a digital analytical platform for retrospective assessment of the probable 3D-visual and 3D-ultrastructural state of the urinary system organs based on whole-body PET/CT data in patients with inflammatory diseases of the kidneys and urinary bladder.

Materials and methods: This pilot study included 8 patients divided into two groups: those with inflammatory kidney diseases and those with inflammatory diseases of the urinary bladder. Data from PET/CT scans acquired using ¹⁸F-FDG and ¹¹C-choline tracers were utilized, along with 3D anatomical reconstruction and 3D ultrastructural analysis employing scanning electron microscopy. The results were correlated with clinical and morphological parameters.

Results: An association was identified between the standardized uptake value (SUVmax) of radiopharmaceuticals and 3D anatomical and 3D ultrastructural changes in the kidneys and urinary bladder wall, reflecting bacterial inflammation activity. Clinical navigation schemes were developed, enabling physicians without specialized training to assess the probable condition of urinary system organs using digital PET/CT parameters.

Conclusion: The developed digital analytical platform enables the integration of functional PET/CT imaging with 3D ultrastructural analysis, enhancing diagnosis and personalization of treatment for inflammatory diseases of the urinary system.

Keywords: PET/CT, 3D visualization, 3D ultrastructure, inflammatory diseases, urinary system organs

Cite this article as: Berdichevskiy BA, Zubik GV, Gonyaev AR, Pavlova IV, Uchaev DA, Korabelnikov MA. Digital Analytical Platform for Probabilistic Assessment of 3D Visual and 3D Ultrastructural Status of Urinary System Organs (Pilot Study). *Innovative Medicine of Kuban*. 2026;11(2):38–45. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2026-11-2-38-45>

Введение

Воспалительные заболевания органов мочевой системы остаются одной из значимых клинических проблем в урологии [1–3]. Несмотря на широкий спектр существующих диагностических методов, включающих лабораторную, ультразвуковую диагностику, компьютерную и магнитно-резонансную томографию, точная количественная и качественная оценка морфологических и функциональных изменений на молекулярном и ультраструктурном уровнях продолжает представлять для лечащего врача неразрешимую проблему [4]. Ограниченная разрешающая способность традиционных визуализирующих технологий и отсутствие комплексного подхода к их оценке снижают эффективность раннего выявления патологических изменений и мониторинга динамики воспалительного процесса [5].

В последние десятилетия применение высокотехнологичного ПЭТ/КТ сканирования всего тела человека открыло новые возможности для оценки метаболической активности воспалительных процессов в почках и мочевом пузыре [6, 7]. Однако функциональные результаты ПЭТ/КТ стандартно используются в клинике преимущественно для выявления онкологических патологий, а интерпретация изменений характерных для проявлений воспаления в просканированных органах остаётся недостаточно разработанной [8–11].

Современные 3D-реконструктивные методики, основанные на данных высокоточных и наукоёмких исследований, позволяют получать детальную ультраструктурную картину патологических изменений, что является критически важным для глубокого понимания патогенеза воспалительных процессов и точной оценки их активности [12–15].

В этом контексте значительный интерес представляют мультидисциплинарные подходы, сочетающие функциональную и ультраструктурную 3D-визуализацию, одним из которых является интеграция результатов ПЭТ/КТ диагностики с данными ультраструктурных и клинических исследований [16, 17].

В условиях растущей потребности в персонализированной медицине и точной диагностике воспалительных заболеваний актуальна разработка цифровых аналитических платформ, которые позволят клиницистам без глубоких знаний в области ядерной медицины, 3D-технологий и электронной микроскопии быстро и достоверно оценивать 3D-визуальное и 3D-ультраструктурное состояние почек и мочевого пузыря на основе данных стандартизированного уровня захвата радиофармпрепаратов [18–20].

Таким образом, разработка и внедрение цифровой аналитической платформы не только повысит точность диагностики и мониторинга воспалительных процессов, но и обеспечит основу для разработки новых алгоритмов клинической навигации, повышающих эффективность лечения и улучшающих качество жизни пациентов.

Цель

Разработать цифровую аналитическую платформу, позволяющую ретроспективно на основе цифровых данных ПЭТ/КТ всего тела оценивать вероятное 3D-визуальное и 3D-ультраструктурное состояние органов мочевой системы у пациентов с воспалительными заболеваниями почек и мочевого пузыря.

Материалы и методы

В основу данного пилотного исследования положены результаты комплексного обследования 8 пациентов, проходящих лечение в урологическом

отделении ГБУЗТО «Тюменская областная клиническая больница № 2» за период с 2020 по 2023 г. Первая группа включала трёх женщин и одного мужчину в возрасте 39,5 (28; 42) лет. Все пациенты перенесли нефрэктомия по следующим показаниям: острый гнойный пиелонефрит (множественные карбункулы паренхимы); хронический пиелонефрит как причина злокачественной нефрогенной гипертензии при сохранной контралатеральной почке; нефункционирующая вторично-сморщенная пиелонефротическая почка.

Критерии включения: наличие в анамнезе нефрэктомии по одному из указанных диагнозов, выполнение ПЭТ/КТ всего тела с ^{18}F -ФДГ, возраст старше 18 лет, наличие информированного согласия. Критерии исключения: отсутствие верифицированного диагноза, послужившего причиной нефрэктомии, наличие злокачественного новообразования почки или мочевыводящих путей, тяжёлая сопутствующая патология в стадии декомпенсации.

В первом случае ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ выполнялась для уточнения возможной онкологической причины лихорадки неясного генеза, в остальных случаях – для исключения онкологических причин стойкого изолированного мочевого синдрома с микрогематурией. В качестве сравнения нами были использованы результаты ПЭТ/КТ всего тела пациента И., 42 лет, без нефроурологического анамнеза, и ультразвуковые исследования препарата почки пациента А., 38 лет, удалённого вследствие травматического отрыва от почечной ножки.

Для каждого случая обследуемой группы по макропрепарату почки после нефрэктомии с помощью разработанной нами ЭВМ программы создавалась 3D-анатомическая реконструкция секционной анатомии почек, а по результатам просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) с увеличением в 10 тыс. раз, 3D-ультраструктурная реконструкция всех элементов нефрона в едином блоке.

Вторая группа состояла из трех женщин и одного мужчины (средний возраст – 41,5 (30; 45) года). Пациенты имели воспалительные заболевания мочевого пузыря. Ранее для исключения онкологических причин стойкого изолированного мочевого синдрома с микрогематурией больным выполнялась ПЭТ/КТ с ^{11}C -холином.

В стационаре под общим обезболиванием этим пациентам выполнялась смотровая цистоскопия с прицельной биопсией. В качестве сравнения нами были использованы результаты ПЭТ/КТ всего тела с ^{11}C -холином пациентки М., 42 лет, без нефроурологического анамнеза и результаты ультразвуковых исследований стенки мочевого пузыря пациента Ш., 29 лет, забранной в процессе иссечения и ушивания

краев раны, возникшей в результате травматического разрыва мочевого пузыря.

Для каждого случая из обследуемой группы по результатам смотровой цистоскопии с помощью разработанной нами ЭВМ программы создавалась 3D-визуальная реконструкция слизистой оболочки мочевого пузыря, а по результатам сканирующей электронной микроскопии (СЭМ, 3D-ультраструктурная реконструкция всех элементов стенки мочевого пузыря в едином блоке) с увеличением в 6 тыс. раз.

Совмещенная ПЭТ/КТ всего тела выполнялась по стандартной методике на аппарате ПЭТ/КТ (Biograph, Siemens), установленном в радиологическом центре Тюменского областного онкологического диспансера. В работе изучались функциональные изменения в почечной паренхиме и стенке мочевого пузыря по тропности тканей к РФП. Зоны интереса анализировались в автоматическом режиме по уровню захвата изотопа (SUV в у.е.) в минимальном (min), среднем (avg) и максимальном (max) диапазонах в соизмеримых объёмах просканированной ткани (Volum, cm^3). Изотопы готовились в радиологическом центре на компактном циклотроне шведской фирмы Scanditronix.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) выполнена в Тюменском научном центре Сибирского отделения Российской академии наук на аппарате сканирующей электронной микроскопии Hitachi High-Tech's SU3800/SU3900 (Япония).

В ходе исследования оценивалась взаимосвязь между показателем стандартизированного уровня захвата радиофармпрепарата (SUVmax), полученным при неинвазивной ПЭТ/КТ с характерными 3D-визуальными и 3D-ультраструктурными тканевыми проявлениями патологии. Данные тканевые проявления были выявлены с помощью инвазивной сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии.

Результаты

В результате проведенных комплексных исследований установлено, что среди пациентов с заболеваниями почек имела место взаимосвязь между показателем стандартизированного уровня захвата ^{18}F -ФДГ (SUVmax) паренхимой с 3D-анатомической картиной секционной анатомии почки, а также 3D-ультраструктурным состоянием всех элементов нефрона в едином блоке, сопровождающим различные проявления активности бактериального воспаления. При этом в основу оценки 3D-ультраструктурного состояния нефрона нами положены результаты визуального анализа размеров подоцита, его насыщенности органеллами, состояния базальной мембраны, наличия патологического содержимого в мочевом пространстве, структурированности проксимального и дистального канальцев (рис. 1).

Во второй исследуемой группе анализировалась взаимосвязь между показателем SUVmax (стандартизированного уровня захвата ¹¹C-холина) стенкой мочевого пузыря с 3D-цистоскопической картиной и 3D-ультраструктурными нарушениями барьерных функций мочевого пузыря, приводящих к насыщению его слоев мочой, содержащей ¹¹C-холин. По визуальным изменениям размеров, структурированности

клеток поверхностного слоя уротелия, а также наличию и ширине межклеточных промежутков нами оценивалась вероятность поступления мочи, содержащей не только ¹¹C холин, но и токсические ферменты перекиси и кислородные радикалы в глубокие слои мочевого пузыря.

По результатам выявленных взаимосвязей в процессе многоуровневой визуализацией нами была

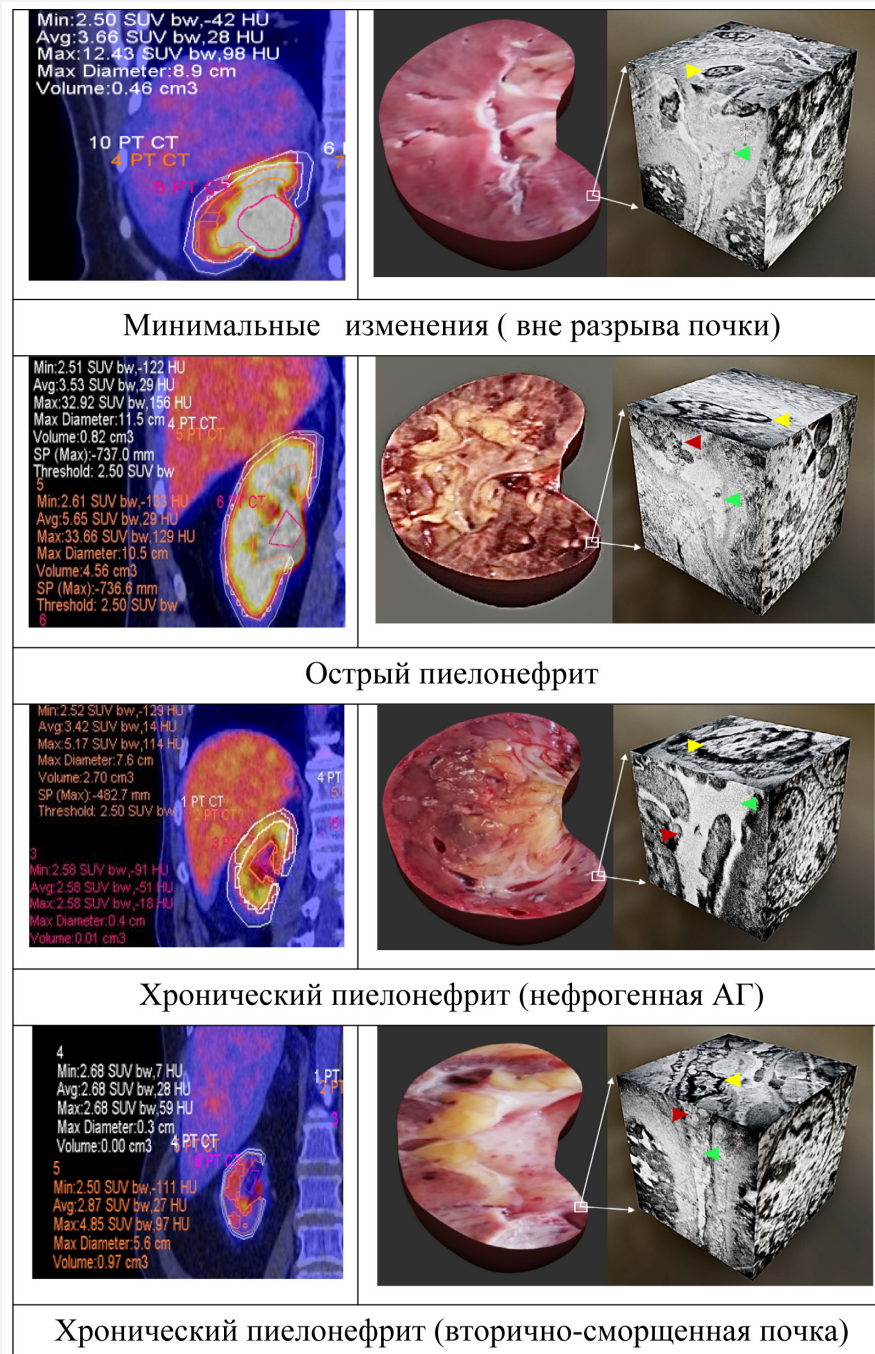


Рисунок 1. Взаимосвязь показателей SUVmax с анатомической 3D-реконструкцией почечной паренхимы и блочной ультраструктурной 3D-реконструкцией нефрона
Figure 1. Association between SUVmax values and 3D anatomical reconstruction of renal parenchyma and block-based ultrastructural 3D reconstruction of the nephron

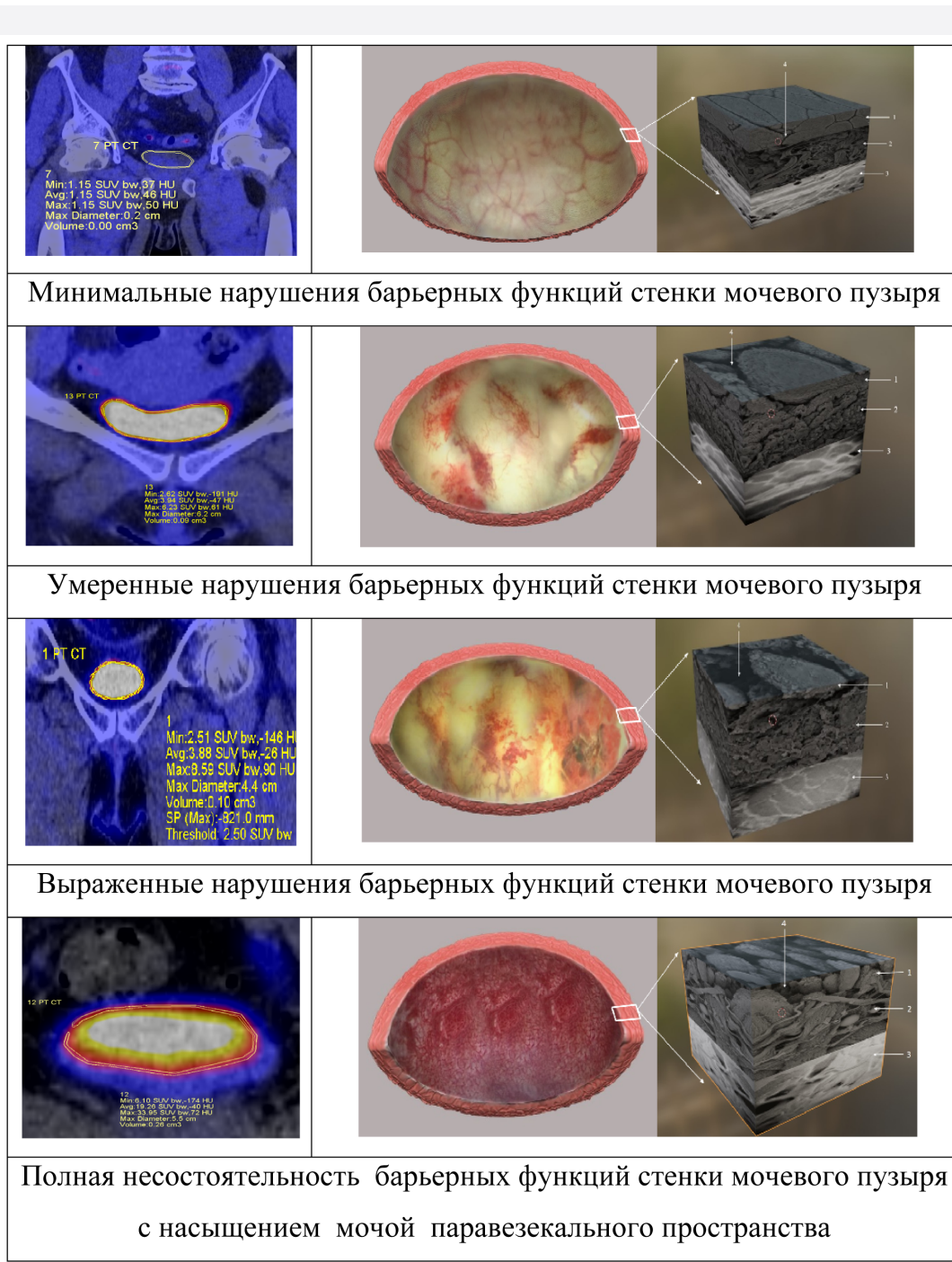


Рисунок 2. Взаимосвязь показателей SUVmax с 3D-цистоскопической картиной и 3D-ультраструктурным состоянием стенки мочевого пузыря в едином блоке
 Figure 2. Correlation of SUVmax values with the 3D cystoscopic view and the 3D ultrastructural condition of the bladder wall within a single integrated block

разработана схема клинической навигации для врача-уролога, который без специальных знаний в области ядерной медицины и 3D-ультраструктурного анализа может ретроспективно по референсным значениям тропности почечной паренхимы к ^{18}F -ФДГ определить вероятное 3D-анатомическое состояние почечной паренхимы и 3D-ультраструктурные изменения элементов нефрона в едином блоке, характер-

ные для бактериального воспаления при увеличении в 10 тыс. раз (рис. 3).

Аналогичная схема клинической навигации была разработана для оценки вероятности нарушений барьерной функции мочевого пузыря как одной из причин рецидивирующего воспаления мочевого пузыря, по которой врач без специальной подготовки в области ядерных и ультраструктурных методов исследо-

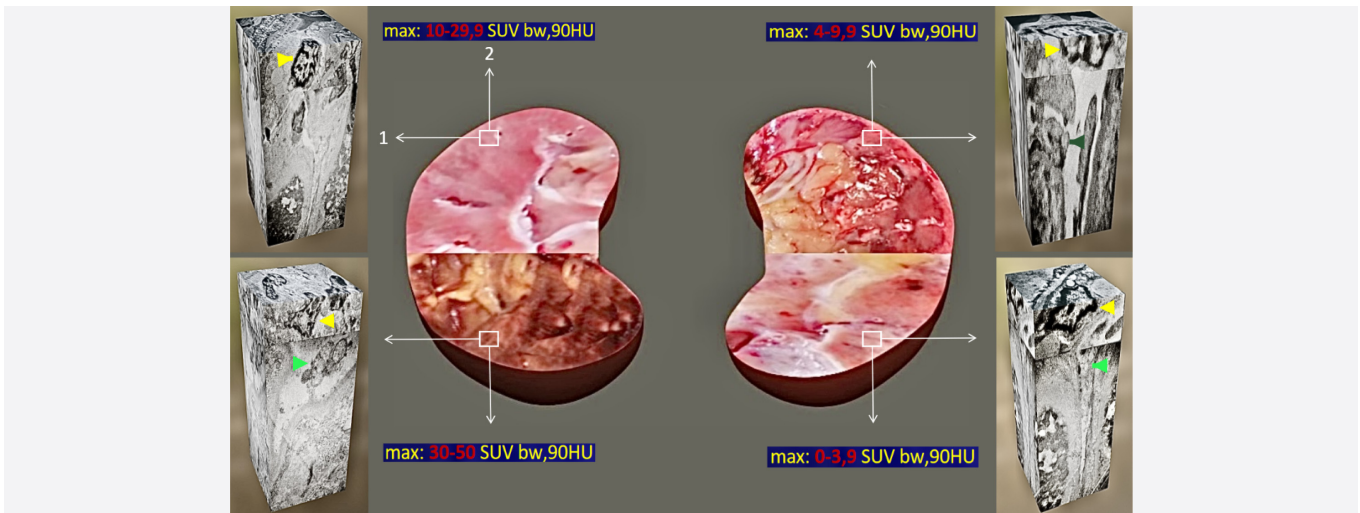


Рисунок 3. Схема клинической навигации вероятного 3D-ультраструктурного состояния нефрона с увеличением в 10 тыс. раз и 3D-анатомической картины почечной паренхимы по цифровому ПЭТ/КТ показателю стандартизованного уровня захвата ^{18}F -ФДГ

Figure 3. Clinical navigation scheme of the probable 3D ultrastructural state of the nephron at 10,000× magnification and the 3D anatomical structure of the renal parenchyma based on PET/CT standardized uptake value (SUV) of ^{18}F -FDG

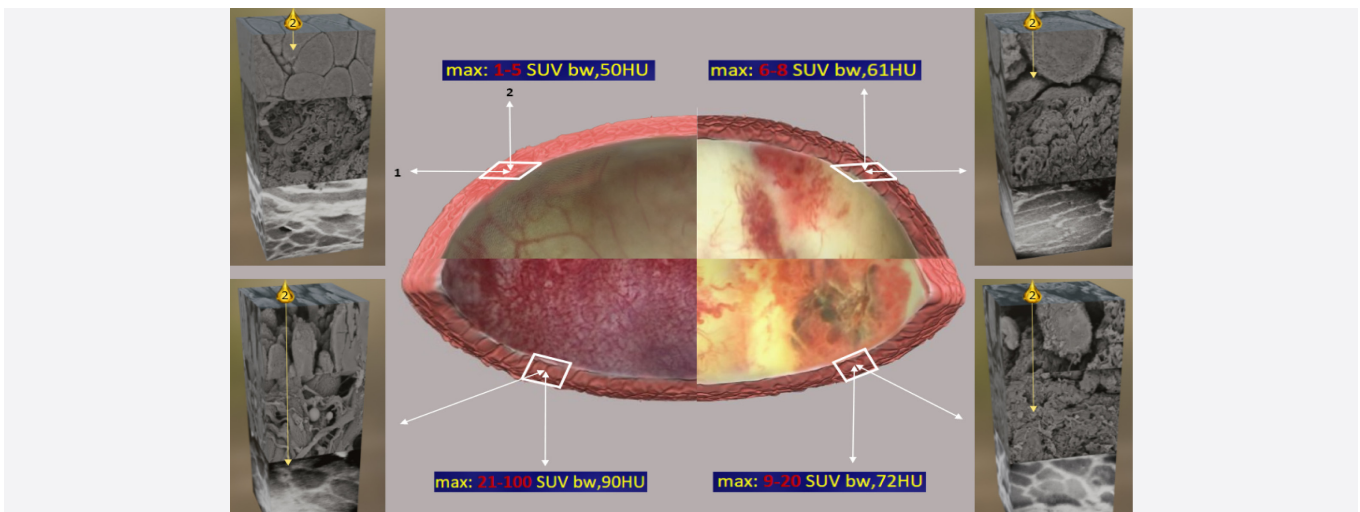


Рисунок 4. Схема клинической навигации вероятности 3D-цистоскопической картины слизистой оболочки и 3D-ультраструктурного состояния барьерных функций стенки мочевого пузыря с увеличением в 6 тыс. раз и по цифровому значению стандартизованного уровня захвата ^{11}C -холина по результатам ПЭТ/КТ

Figure 4. Clinical navigation scheme of the probable 3D cystoscopic view of the mucosa and the 3D ultrastructural state of the bladder wall's barrier function at 6000× magnification, based on the PET/CT standardized uptake value (SUV) of ^{11}C -choline

вания может ретроспективно по цифровым значениям тропности стенки мочевого пузыря к ^{11}C -холину определить вероятную 3D-цистоскопическую картину и 3D-ультраструктурное состояние всех элементов стенки мочевого пузыря в едином блоке (рис. 4).

Обсуждение

В результате пилотного исследования молекулярно-клеточного и ультраструктурного состояния паренхимы почек и стенки мочевого пузыря методом ПЭТ/КТ нами разработана цифровая аналитическая платформа, позволяющая на основе данных ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ и ^{11}C -холином моделировать вероятную 3D-визуальную

картину и 3D-ультраструктурное состояние органов мочевой системы при воспалительных заболеваниях. Полученные данные указывают на наличие тесной взаимосвязи между показателями стандартизованного уровня захвата радиофармпрепаратов (SUVmax) и 3D-ультраструктурными проявлениями воспаления в почечной паренхиме и стенке мочевого пузыря.

При бактериальном воспалении почечной паренхимы изменения цифрового показателя SUVmax для ^{18}F -ФДГ коррелируют с выраженностью структурных изменений в основной функциональной единице почечной паренхимы, нефроне. В процессе клинко-лабораторных проявлений бактериального воспаления

мочевого пузыря цифровой показатель SUVmax для ¹¹C-холина отражает состояние барьерных функций мочевого пузыря по удержанию токсичных продуктов мочи (ферменты, перекиси, свободные радикалы) от проникновения в глубокие слои его стенки.

Полученные данные подтверждают целесообразность и клиническую значимость интеграции функциональной визуализации с морфологическим анализом на нескольких уровнях. Мультидисциплинарный подход, реализованный в рамках разработанной нами цифровой платформы, позволяет дополнить понимание патогенеза воспалительных заболеваний, что необходимо для точной диагностики и мониторинга и не поддается анализу другими имеющимися методами обследования. Это особенно актуально в условиях растущего спроса на интеграцию цифровых технологий и искусственного интеллекта в повседневную практику. Разработка подобных инструментов способствует улучшению клинических результатов и, как следствие, повышению качества жизни пациентов.

Ограничения исследования

Работа носит пилотный характер, что требует дальнейшего изучения для возможности широкого внедрения в клиническую практику. Дополнительным ограничением следует считать отсутствие развернутого статистического анализа. Важным практическим ограничением на сегодняшний день является высокая стоимость и низкая доступность ПЭТ/КТ исследований. Таким образом, представленные результаты следует рассматривать как предварительные, требующие подтверждения в более крупных исследованиях с расширенной выборкой, сравнительным дизайном и статистическим анализом.

Заключение

Нами разработана цифровая аналитическая платформа, которая на основе показателей ПЭТ/КТ тропности тканей к РФР, позволяет проводить оценку вероятного 3D-визуального и 3D-ультраструктурного состояния органов мочевой системы в процессе урологических воспалительных заболеваниях. Предложенные схемы клинической навигации позволяют врачам-урологам в удобной для восприятия форме моделировать вероятное состояние почек и мочевого пузыря без проведения высокотехнологичных и наукоёмких исследований, что способствует более точной диагностике и персонализации лечебного процесса.

Ограничения и недостатки нашей работы связаны с пилотным характером исследования, и для окончательного подтверждения эффективности предложенного подхода необходимы более масштабные клинические исследования.

Вклад авторов

Разработка концепции и дизайна исследования:

Б.А. Бердичевский, Г.В. Зубик

Сбор, анализ и интерпретация данных: А.Р. Гоняев,

И.В. Павлова, Д.А.Учаев, М.А. Корабельников

Подготовка и редактирование текста: Б.А. Бердичевский, Г.В. Зубик

Утверждение готовой версии: Б.А. Бердичевский

Authors contributions

Concept and design: Berdichevsky, Zubik

Acquisition, analysis, or interpretation of data: Gonyaev, Pavlova, Uchaev, Korabelnikov

Manuscript drafting and revising: Berdichevsky, Zubik

Final approval of the version to be published: Berdichevsky

Литература/References

1. Tandogdu Z, Wagenlehner FM. Global epidemiology of urinary tract infections. *Curr Opin Infect Dis.* 2016;29(1):73-79. PMID: 26694621. <https://doi.org/10.1097/qco.0000000000000228>
2. Öztürk R, Murt A. Epidemiology of urological infections: a global burden. *World J Urol.* 2020;38(11):2669-2679. PMID: 31925549. <https://doi.org/10.1007/s00345-019-03071-4>
3. Johnson JR, Russo TA. Acute Pyelonephritis in Adults. *N Engl J Med.* 2018;378(1):48-59. PMID: 29298155. <https://doi.org/10.1056/nejmcp1702758>
4. Segura-Grau A, Herzog R, Diaz-Rodriguez N, Segura-Cabral JM. Ultrasound of the urinary system. *Semergen.* 2016;42(6):388-394. PMID: 25982474. <https://doi.org/10.1016/j.semerg.2015.03.009>
5. Dubbs SB, Sommerkamp SK. Evaluation and Management of Urinary Tract Infection in the Emergency Department. *Emerg Med Clin North Am.* 2019;37(4):707-723. PMID: 31563203. <https://doi.org/10.1016/j.emc.2019.07.007>
6. Hanssen O, Lovinfosse P, Weekers L, Hustinx R, Joutet F. 18F-FDG positron emission tomography in non-oncological renal pathology: Current indications and perspectives. *Nephrol Ther.* 2019;15(6):430-438. PMID: 30982747. <https://doi.org/10.1016/j.nephro.2018.11.007>
7. Solav S, Savale S, Patil AM. Localization of acute pyelonephritis in pyrexia of unknown origin using FDG PET/CT. *Asia Ocean J Nucl Med Biol.* 2020;8(1):79-83. PMID: 32064288. PMID: PMC6994777. <https://doi.org/10.22038/aojnmb.2019.14242>
8. Dondi F, Pisani AR, Lucarelli NM, et al. Correlation between Kidney Uptake at [18F]FDG PET/CT and Renal Function. *J Pers Med.* 2023;14(1):40. PMID: 38248741. PMID: PMC10817585. <https://doi.org/10.3390/jpm14010040>
9. Бердичевский БА, Бердичевский ВБ, Сапоженкова ЕВ, и др. ПЭТ/КТ молекулярно-клеточная визуализация острого пиелонефрита в диагностике скрытых причин лихорадки неясного генеза. *Урология.* 2024;4:75-80. <https://dx.doi.org/10.18565/urology.2024.4.75-80>
- Berdichevsky BBA, Berdichevsky BVB, Sapozhevnikova SEV, Pavlova PIV, Boldyrev BAL, Gonyaev GAR, et al. PET/CT molecular cell imaging of acute pyelonephritis in the diagnosis of fever of unknown origin. *Urologiia.* 2024 Sep 2;4_2024:75–80. <https://dx.doi.org/10.18565/urology.2024.4.75-80>
10. Moghrabi S, Abdlkadir AS, Al-Hajaj N, et al. A New Era for PET/CT: Applications in Non-Tumorous Renal Pathologies. *J Clin Med.* 2024;13(16):4632. PMID: 39200774. PMID: PMC11355182. <https://doi.org/10.3390/jcm13164632>
11. Peng Z, Shan H, Yang X, et al. Weakly supervised learning-based 3D bladder reconstruction from 2D ultrasound images for bladder volume measurement. *Med Phys.* 2024;51(2):1277-1288. PMID: 37486288. <https://doi.org/10.1002/mp.16638>

12. Miyaki T, Kawasaki Y, Hosoyamada Y, et al. Three-dimensional imaging of podocyte ultrastructure using FE-SEM and FIB-SEM tomography. *Cell Tissue Res.* 2020;379(2):245-254. PMID: 31758252. <https://doi.org/10.1007/s00441-019-03118-3>

13. Zhai XY, Birn H, Jensen KB, Thomsen JS, Andreassen A, Christensen EI. Digital three-dimensional reconstruction and ultrastructure of the mouse proximal tubule. *J Am Soc Nephrol.* 2003;14(3):611-619. PMID: 12595496. <https://doi.org/10.1097/01.asn.0000051725.00406.0c>

14. Cui Y, Chen Y, Zhao J. Application of three-dimensional reconstruction technology in congenital anomalies of the kidney and urinary tract: a case description. *Quant Imaging Med Surg.* 2022;12(3):2158-2161. PMID: 35284296. PMCID: PMC8899936. <https://doi.org/10.21037/qims-21-691>

15. Limkar AR, Sharma SM, Ricke WA. High-resolution ex vivo nanoCT reveals 3D architecture of the adult male mouse lower urogenital tract. *PLoS One.* 2025;20(9):e0326004. PMID: 40966215. PMCID: PMC12445489. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0326004>

16. Amparore D, Pecoraro A, Piramide F, et al. Three-dimensional imaging reconstruction of the kidney's anatomy for a tailored minimally invasive partial nephrectomy: A pilot study. *Asian J Urol.* 2022;9(3):263-271. PMID: 36035345. PMCID: PMC9399544. <https://doi.org/10.1016/j.ajur.2022.06.003>

17. Ademola BL, Atanda AT, Aji SA, Abdu A. Clinical, morphologic and histological features of chronic pyelonephritis: An 8-year review. *Niger Postgrad Med J.* 2020;27(1):37-41. PMID: 32003360. https://doi.org/10.4103/npmj.npmj_109_19

18. Бердичевский Б.А., Бердичевский В.Б., Зубик Г.В., Ахундов Э.Ф. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025663706. Российская Федерация. Компьютерная программа визуальной и блочной 3D-ультраструктурной оценки вероятности воспалительных изменений в нефроне по результатам ПЭТ/КТ всего тела 18F-ФДГ глюкозой. Заявл. 29.05.2025; опубл. 29.05.2025.

19. Бердичевский Б.А., Бердичевский В.Б., Зубик Г.В. и др. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025687778. Российская Федерация. Клиническая навигация 3D анатомического и 3D ультраструктурного состояния почечной паренхимы по результатам ПЭТ/КТ с 11С-холином. Заявл. 14.07.2025; опубл. 15.10.2025.

20. Бердичевский Б.А., Бердичевский В.Б., Гоняев А.Р., Зубик Г.В. и др. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025610931. Российская Федерация. Компьютерная программа визуальной и блочной 3D-ультраструктурной визуализации вероятности нарушения мочеточникового барьера мочевого пузыря по результатам ПЭТ/КТ всего тела 11С-холином: заявл. 15.01.2025; опубл. 15.01.2025.

Сведения об авторах

Бердичевский Борис Аркадьевич, д. м. н., профессор, профессор кафедры детской хирургии с курсом урологии

и андрологии, Тюменский государственный медицинский университет (Тюмень, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-9414-8510>

Зубик Григорий Васильевич, стажер-исследователь института клинической медицины, Тюменский государственный медицинский университет (Тюмень, Россия). <https://orcid.org/0009-0005-1333-2922>

Гоняев Артем Романович, к. м. н., врач-уролог, заведующий отделением оперативной урологии клинического госпиталя «Мать и дитя» (Тюмень, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-1619-4714>

Павлова Ирина Валерьевна, к. м. н., врач-уролог, докторант кафедры детской хирургии с курсом урологии и андрологии, Тюменский государственный медицинский университет (Тюмень, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-5079-430X>

Учаев Даниил Анатольевич, ведущий научный сотрудник отдела электронной микроскопии и рентгеновский методов анализа научно-образовательного центра «Нанотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-8623-4769>

Корабельников Михаил Алексеевич, врач-радиолог, Радиологического центра ГАУЗ ТО МКМЦ «Медицинский город» (Тюмень, Россия). <https://orcid.org/0000-0001-6020-2489>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author credentials

Boris A. Berdichevsky, Dr. Sci. (Med.), Professor, Department of Pediatric Surgery with the Course of Urology and Andrology, Tyumen State Medical University (Tyumen, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-9414-8510>

Grigory V. Zubik, Research Trainee, Institute of Clinical Medicine, Tyumen State Medical University (Tyumen, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0005-1333-2922>

Artem R. Gonyaev, Cand. Sci. (Med.), Urologist, Head of the Operative Urology Department, Clinical Hospital “Mother and Child” (Tyumen, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-1619-4714>

Irina V. Pavlova, Cand. Sci. (Med.), Urologist, Doctoral Candidate, Department of Pediatric Surgery with the Course of Urology and Andrology, Tyumen State Medical University (Tyumen, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-5079-430X>

Daniil A. Uchaev, Leading Researcher, Department of Electron Microscopy and X-ray Analysis Methods, Research and Education Center “Nanotechnologies”, South Ural State University (Chelyabinsk, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-8623-4769>

Mikhail A. Korabelnikov, Radiologist, Radiology Center, Multidisciplinary Clinical Medical Centre “Medical City” (Tyumen, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-6020-2489>

Conflict of interest: none declared.