

<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-1-85-91>

Применение дополненной реальности в хирургии рецидивной опухоли малого таза: клинический случай

В.Г.Гребеньков^{1*}, В.В.Вон¹, О.В.Балюра¹, А.Л.Гаврилова¹, В.Н.Румянцев¹, Д.А.Рудаков¹, М.Д.Гребенькова², А.С.Пономарев¹, И.А.Савченко¹, Э.Г.Вердиев³

¹Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Россия, Санкт-Петербург

²Филиал № 5 «425 Военный госпиталь», Россия, Алейск

³Институт медицинского образования Национального медицинского исследовательского центра имени В.А. Алмазова, Россия, Санкт-Петербург

* **Контакты:** Гребеньков Владимир Геннадьевич, e-mail: grebenkov_89@mail.ru

Гребеньков Владимир Геннадьевич — кафедра военно-морской хирургии, orcid.org/0000-002-7881-1714

Вон Владимир Витальевич — кафедра военно-морской хирургии, orcid.org/0009-0006-6890-2213

Балюра Олег Валерьевич — к.м.н., кафедра военно-морской хирургии, orcid.org/0000-0001-7826-8056

Гаврилова Анна Леонидовна — кафедра военно-морской хирургии, orcid.org/0009-0004-3556-5439

Румянцев Валерий Николаевич — к.м.н., кафедра военно-морской хирургии, orcid.org/0000-0001-7526-6282

Рудаков Дмитрий Александрович — кафедра военно-морской хирургии, orcid.org/0009-0004-0414-4471

Гребенькова Мария Дмитриевна — хирургическое отделение, orcid.org/0000-0003-1048-6203

Пономарев Александр Сергеевич — курсант 2 курса, факультет подготовки врачей для сухопутных, ракетных и воздушно-десантных войск, orcid.org/0009-0008-9818-9636

Савченко Илья Андреевич — курсант 2 курса, факультет подготовки врачей для сухопутных, ракетных и воздушно-десантных войск, orcid.org/0009-0009-3061-3696

Вердиев Эльчин Гахраман оглы — доцент, кафедра общей хирургии, orcid.org/0009-0000-5534-2583

Аннотация

Введение. Рак прямой кишки занимает второе место среди причин смертности от онкологических заболеваний, что обуславливает актуальность совершенствования диагностики и лечения этой патологии. Технология дополненной реальности (AR) позволяет визуализировать сложные анатомические структуры, улучшая предоперационное планирование и интраоперационную навигацию, что снижает риски осложнений и повышает эффективность операций. **Материалы и методы.** Проведено клиническое наблюдение 58-летнего пациента с метастазно-распространенным рецидивом рака прямой кишки. Диагностика включала КТ и МРТ малого таза, данные которых использовались для создания 3D-модели новообразования. Применение AR (очки Microsoft HoloLens 2) обеспечило точную локализацию опухоли, минимизировало риски повреждения жизненно важных структур при проведении пункционной биопсии под ультразвуковым контролем. **Результаты.** Предоперационное планирование с использованием 3D-модели позволило хирургу определить оптимальный доступ для биопсии. Полученные макропрепараты подтвердили диагноз аденокарциномы интестинального типа. Применение AR-технологии способствовало точной локализации опухоли, сокращению времени операции и предотвращению повреждения сосудов и прилежащих анатомических образований. Послеоперационный период прошел без осложнений, и пациент был выписан на 7-е сутки. **Обсуждение.** Лечение рецидивных опухолей малого таза осложняется изменением анатомии после первичных вмешательств и лучевой терапии. Стандартные методы биопсии несут высокий риск повреждения сосудов и нервов. Использование AR в подобных случаях обеспечивает точную навигацию и уменьшает риск осложнений. В представленном клиническом случае AR-технологии помогли успешно выполнить биопсию при сложной анатомической ситуации. **Заключение.** Применение AR в онкологии открывает новые возможности для диагностики и лечения рецидивных опухолей малого таза. Представленный случай демонстрирует, что использование AR позволяет повысить точность диагностики, улучшить планирование вмешательств и минимизировать риски операций. Таким образом, AR может стать ключевым инструментом в онкохирургии, особенно при сложных клинических ситуациях.

Ключевые слова: опухоли малого таза, рак прямой кишки, дополненная реальность, биопсия под визуальным контролем, интраоперационная навигация

Информированное согласие. Информированное согласие пациента на публикацию своих данных получено.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Данная работа не финансировалась.

Вклад авторов. Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Для цитирования: Гребеньков В.Г., Вон В.В., Балюра О.В., Гаврилова А.Л., Румянцев В.Н., Рудаков Д.А., Гребенькова М.Д., Пономарев А.С., Савченко И.А., Вердиев Э.Г. Применение дополненной реальности в хирургии рецидивной опухоли малого таза: клинический случай. Креативная хирургия и онкология. 2025;15(1):85–91. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-1-85-91>

Поступила в редакцию: 07.11.2024

Поступила после рецензирования и доработки: 10.02.2025

Принята к публикации: 20.02.2025

Augmented Reality in Surgery for Recurrent Pelvic Tumors: Clinical Case

Vladimir G. Grebenkov — Department of Naval Surgery, orcid.org/0000-0002-7881-1714

Vladimir V. Von — Department of Naval Surgery, orcid.org/0009-0006-6890-2213

Oleg V. Balyura — Cand. Sci. (Med.), Department of Naval Surgery, orcid.org/0000-0001-7826-8056

Anna L. Gavrilova — Department of Naval Surgery, orcid.org/0009-0004-3556-5439

Valery N. Rumyantsev — Cand. Sci. (Med.), Department of Naval Surgery, orcid.org/0000-0001-7526-6282

Dmitry A. Rudakov — Department of Naval Surgery, orcid.org/0009-0004-0414-4471

Maria D. Grebenkova — Surgery Unit, orcid.org/0000-0003-1048-6203

Alexander S. Ponomarev — 2nd year Cadet, Faculty of Training of Doctors for Land, Missile and Airborne Forces, orcid.org/0009-0008-9818-9636

Ilya A. Savchenko — 2nd year Cadet, Faculty of Training of Doctors for Land, Missile and Airborne Forces, orcid.org/0009-0009-3061-3696

Elchin G. Verdiev — Assoc. Prof., Department of General Surgery, orcid.org/0009-0000-5534-2583

Vladimir G. Grebenkov¹, Vladimir V. Von¹, Oleg V. Balyura¹, Anna L. Gavrilova¹, Valery N. Rumyantsev¹, Dmitry A. Rudakov¹, Maria D. Grebenkova², Alexander S. Ponomarev¹, Ilya A. Savchenko¹, Elchin G. Verdiev³

¹ Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russian Federation

² Branch No. 5 “425 Military Hospital”, Aleysk, Russian Federation

³ Institute for Medical Education, Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg, Russian Federation

* **Correspondence to:** Vladimir G. Grebenkov, e-mail: grebenkov_89@mail.ru

Abstract

Introduction. Rectal cancer ranks second among the causes of mortality from oncological diseases, which determines the relevance of improving the diagnosis and treatment of this pathology. Augmented reality (AR) technology makes it possible to visualize complex anatomical structures and, therefore, improves preoperative planning and intraoperative navigation as well as reduces complication risks and increases the efficiency of surgical procedures.

Materials and Methods. A 58-year-old patient with a locally advanced recurrence of rectal cancer was clinically observed. The diagnostic process included pelvic CT and MRI, the data from which were used to create a 3D model of the tumor. The use of AR (Microsoft HoloLens 2 glasses) ensured precise tumor localization and minimized the risk of damage to vital structures during ultrasound-guided needle biopsy. **Results.** Preoperative planning using the 3D model allowed the surgeon to determine the optimal approach for the biopsy. The obtained gross specimens confirmed the diagnosis of intestinal adenocarcinoma. The application of AR technology facilitated precise tumor localization, reduced the operation time, and prevented damage to vessels and adjacent anatomical structures. The postoperative period was unremarkable, and the patient was discharged on the seventh day. **Discussion.** The treatment of recurrent pelvic tumors is complicated by altered anatomy following primary interventions and radiotherapy. Standard biopsy methods carry a high risk of vascular and nerve damage. The use of AR in such cases ensures accurate navigation and reduces the risk of complications. In the presented clinical case, AR technology helped successfully perform a biopsy in a challenging anatomical situation. **Conclusion.** The application of AR in oncology opens new opportunities for the diagnosis and treatment of recurrent pelvic tumors. This case demonstrates that AR improves diagnostic accuracy, enhances intervention planning, and minimizes surgical risks. Thus, AR can become a key tool in oncological surgery, particularly in complex clinical scenarios.

Keywords: pelvic tumors, rectal cancer, augmented reality, image-guided biopsy, intraoperative navigation

Informed consent. Written informed consent was obtained from the patient for publication of this case report and accompanying materials.

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

Sponsorship data. This work is not funded.

Author contributions. The authors contributed equally to this article.

For citation: Grebenkov V.G., Von V.V., Balyura O.V., Gavrilova A.L., Rumyantsev V.N., Rudakov D.A., Grebenkova M.D., Ponomarev A.S., Savchenko I.A., Verdiev E.G. Augmented reality in surgery for recurrent pelvic tumors: Clinical case. *Creative Surgery and Oncology*. 2025;15(1):85–91. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2025-15-1-85-91>

Received: 07.11.2024

Revised: 10.02.2025

Accepted: 20.02.2025

ВВЕДЕНИЕ

Злокачественные новообразования прямой кишки занимают одно из ведущих мест среди онкологических заболеваний, особенно в промышленно развитых странах. По данным статистики, опухоли толстой кишки является второй по частоте причиной смерти от рака среди мужчин и женщин в мире. В России, согласно последним данным, злокачественные новообразования данной локализации также составляют значительную долю в структуре онкологической заболеваемости, что подчеркивает актуальность поиска новых методов диагностики и лечения [1].

Современные технологии, такие как дополненная реальность (AR) и смешанная реальность (MR), открывают новые возможности для повышения точности диагностики, предоперационного планирования и интраоперационной навигации. Эти технологии позволяют визуализировать сложные анатомические структуры в реальном времени, интегрируя данные компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) для создания трехмерных моделей опухоли и прилегающих тканей. Применение AR в хирургии значительно улучшает точность манипуляций, снижает риск повреждения окружающих тканей и повышает безопасность процедуры [2, 3]. В частности, исследование Müller et al. показало, что использование AR для предоперационного планирования способно повысить точность операций на 25 %, что существенно улучшает исходы лечения и снижает количество послеоперационных осложнений [4].

Технологии дополненной реальности играют ключевую роль в повышении эффективности предоперационной диагностики и хирургического лечения опухолей, в том числе малого таза. Они позволяют хирургу не только визуализировать опухоль и окружающие анатомические структуры в реальном времени, но и планировать операцию, выбирая оптимальный хирургический доступ, тем самым минимизируя риски необоснованного повреждения жизненно важных структур. Согласно исследованию S. M. Heining et al., применение AR при выполнении хирургических вмешательств на органах малого таза позволило значительно снизить риск повреждения сосудистых и нервных структур [5].

Кроме того, отмечено, что AR-технологии способствуют значительному сокращению времени операции, что также способствует снижению частоты послеоперационных осложнений, связанных с длительностью вмешательства. Применение AR-технологий может сократить время операции на 30–40 % и уменьшить количество осложнений на 5–7,5 % [6, 7].

Цель: демонстрация клинических преимуществ использования технологий дополненной реальности в диагностике сложных онкологических случаев, в частности при рецидивах опухолей малого таза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование основано на клиническом наблюдении пациента с рецидивом рака прямой кишки. Диагностика включала КТ и МРТ малого таза с внутривенным контрастированием, результаты которых использова-

ны для создания 3D-модели новообразования. Технологии дополненной реальности (очки Microsoft hololens 2) применялись для предоперационного планирования, локализации опухоли и выполнения пункционной и инцизионной биопсии под ультразвуковым контролем. Модель разработана с использованием ПО 3D Slicer, что обеспечило минимизацию рисков повреждения жизненно важных структур.

Клиническое наблюдение: Пациент Г., 58 лет, поступил в хирургическое отделение 20.05.2024 с жалобами на интенсивные боли в области малого таза (ВАШ — 5), сопровождаемые отеком и онемением левой нижней конечности, общей слабостью и снижением работоспособности (ECOG — 2). Из анамнеза известно, что в 2017 году пациенту был установлен диагноз: рак прямой кишки cT3N0Mx. Прижизненное гистологическое исследование (ПГИ) от 2017 года: аденокарцинома прямой кишки. В связи с чем была выполнена брюшно-промежностная экстирпация прямой кишки (послеоперационный диагноз: рак прямой кишки pT4N1M0. ПГИ от 2017 года: аденокарцинома прямой кишки, pT4N1), проводилась адъювантная химиотерапия — 5 курсов по схеме FOLFOX. В течение последующих лет наблюдались рецидивы заболевания, которые требовали повторных обследований: в 2023 году, пациенту, в условиях Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская больница № 33» выполнена диагностическая лапароскопия, при которой выявлено образование малого таза, последнее было взято на биопсию. ПГИ от 24.11.2023: жировая ткань с тонкими прослойками соединительной ткани, часть представлена некротизированной тканью, утратившая свою гистологическую принадлежность с перифокальной нейтрофильной инфильтрацией; в небольшом участке жировой ткани наблюдается картина слизееобразующего характера, определяются пенистые клетки в большом количестве и мелкие кровенаполненные сосуды с острыми расстройствами кровообращения. Имеет место наличие крупных полиморфных клеток с выраженными дистрофическими изменениями, что тоже не является информативным, наиболее вероятно, что картина может соответствовать состоянию после лучевой терапии. Иммуногистохимия (ИГХ) от 12.12.2023: позитивная реакция в опухоли на CD138 позитивные клетки. Негативная реакция на HMB45, S100, TFE3, CDk4, Ki67 — 5 %. Заключение: Олеогранулема.

Инструментальные методы исследования, включая магнитно-резонансную томографию малого таза с внутривенным контрастированием и компьютерную томографию, выявили значительную опухолевую инфильтрацию в полости малого таза, поражающую левый мочеточник, внутреннюю подвздошную артерию и вену, а также мышцы ягодичной области и кости таза. Результаты КТ подтвердили наличие опухоли с инвазией в подвздошную кость и крестец, что привело к значительному сужению мочеточника и развитию каликопиелозктазии слева (рис. 1). Уровень раково-эмбрионального антигена (РЭА) составил 173 нг/мл, что свидетельствовало о продолжающемся опухолевом процессе.

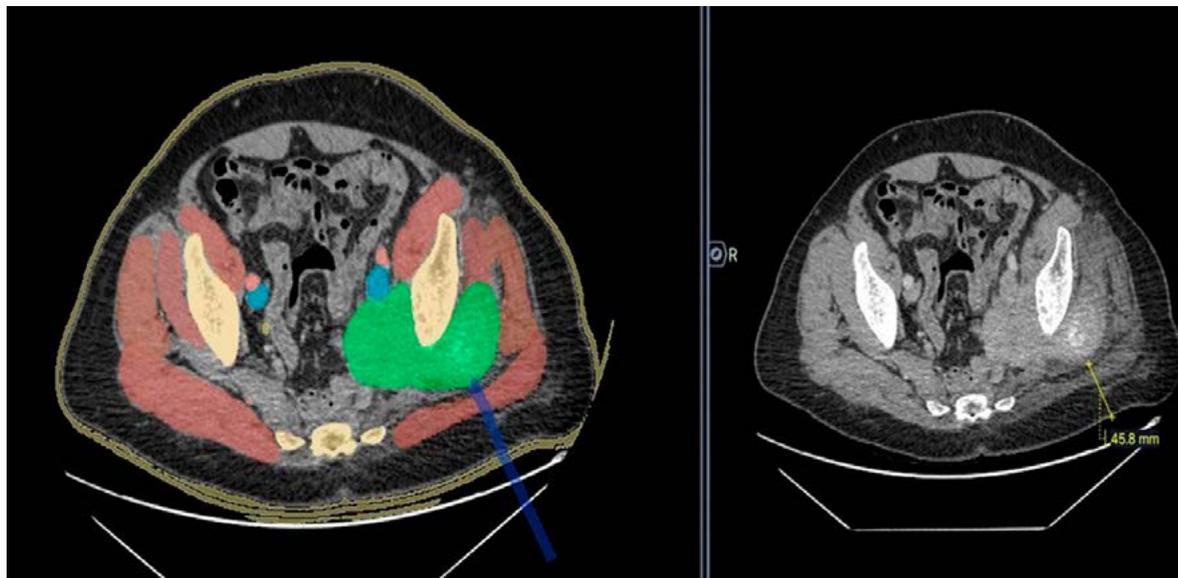


Рисунок 1. Компьютерная томография малого таза с внутривенным контрастированием. Опухолевая инфильтрация с инвазией в подвздошную кость и мочеточник
Figure 1. Computed tomography of the small pelvis with intravenous contrast. Tumor infiltration with invasion of the ilium and ureter



Рисунок 2. Ультразвуковое исследование новообразования левой ягодичной области
Figure 2. Ultrasound scan of the neoplasm of the left gluteal region

Данные КТ использовались для создания трехмерной модели с последующим применением AR.

Последний рецидив опухоли был диагностирован в 2023 году, однако результаты биопсии, проведенной в этом же году, не позволили получить достоверную информацию о природе новообразования.

Ввиду неоднозначных результатов предыдущих гистологических исследований и сложности клинической картины было принято решение провести пункционную и инцизионную биопсию под контролем ультразвука (рис. 2) с применением технологии дополненной реальности (AR) для точной локализации опухоли и минимизации рисков повреждения неизмененных анатомических структур.

Предоперационное планирование включало использование трехмерной модели малого таза, построенной на основе данных КТ с внутривенным контрастированием (рис. 3). Модель была разработана с использованием программного обеспечения 3D Slicer. Технология

AR позволила хирургу детализировать анатомические ориентиры и выбрать наилучший доступ для проведения биопсии с минимальными рисками повреждения жизненно важных структур.

Операция проводилась под комбинированной анестезией. В положении пациента на правом боку была выполнена пункционная биопсия опухоли под контролем ультразвукового исследования. Ввиду сложности доступа и плотного прилегания опухоли к магистральным сосудам было решено провести инцизионную биопсию. На задней поверхности бедра был выполнен поперечный разрез длиной 10 см, через который была выявлена плотная опухолевая масса без капсулы, светло-коричневого цвета. В ходе операции были получены четыре операционных макропрепарата для гистологического исследования.

Результаты гистологического анализа показали наличие очагов аденокарциномы интестинального типа, что позволило подтвердить диагноз рецидива опухоли (рис. 4). Окончательный диагноз, установленный на основании гистологического исследования и инструментальных данных, звучит как «рецидив аденокарциномы прямой кишки с инвазией в левый мочеточник, подвздошные сосуды, подвздошную кость и мышцы ягодичной области». Это позволило разработать дальнейшую тактику лечения пациента, включающую комплексную терапию, ориентированную на морфологические особенности опухоли.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Послеоперационный период протекал без осложнений, пациент активизирован и переведен на питание по общему столу с первых суток после операции.

Учитывая однозначные результаты гистологического исследования по биопсийному материалу, полученному благодаря построению 3D-модели новооб-

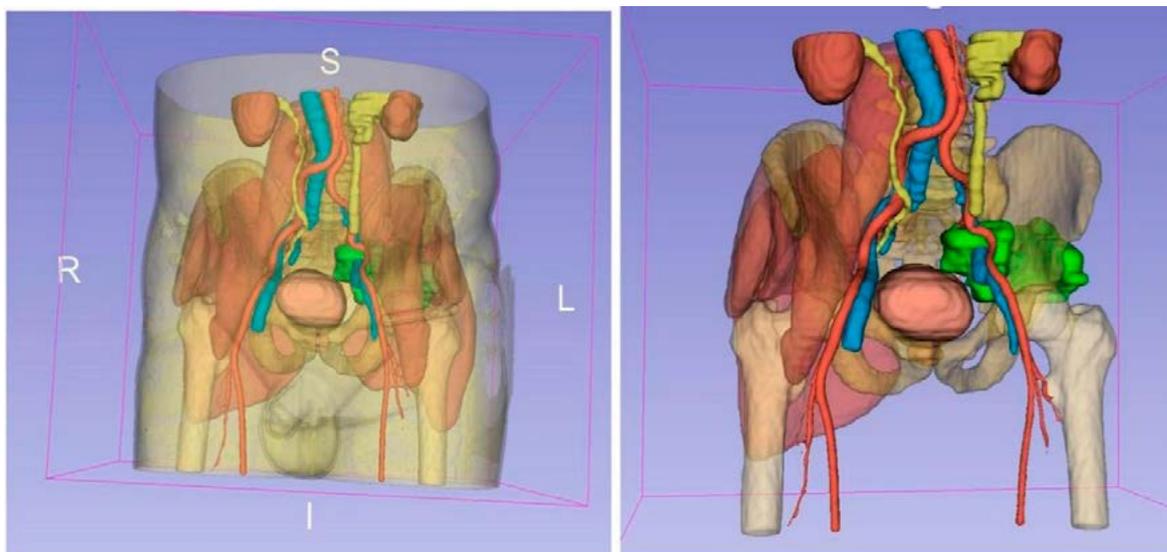


Рисунок 3. Трехмерная модель таза с новообразованием, созданная на основе данных КТ малого таза с контрастированием. Зеленым цветом обозначена опухоль
Figure 3. A three-dimensional model of a pelvis with a neoplasm created using CT data on the small pelvis with contrast. The green color indicates a tumor.

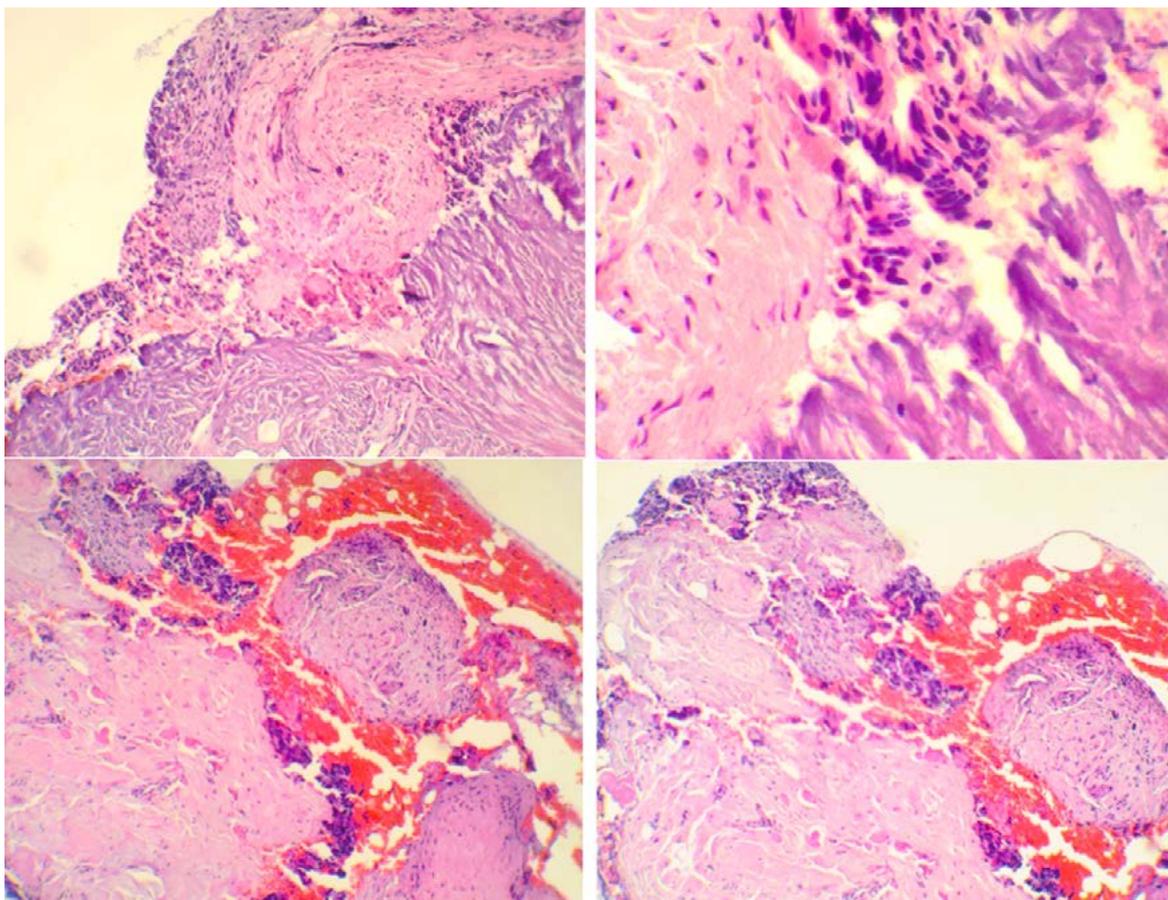


Рисунок 4. Микропрепарат биопсионного материала, подтверждающий аденокарциному интестинального типа
Figure 4. A micropreparation of biopsy material confirming intestinal adenocarcinoma.

разования, пациенту сформулирован окончательный диагноз: рак прямой кишки рТ4N1M0. (от 2017 года: аденокарцинома прямой кишки, рТ4N1). Состояние после брюшно-промежностной экстирпации прямой кишки от 2017 г. 5 курсов адъювантной химиотерапии по схеме FOLFOX от 2017 года. Рецидив от 09.2023 года. Прогрессирование от 24.03.2024 — местный рецидив в малом тазу с инвазией в левый мочеточник, внутреннюю левую подвздошную артерию и вену, внутреннюю запирающую мышцу, левую подвздошную кость, грушевидную, большую и малую ягодичные мышцы. ПГИ № 845930 от 11.06.2024 — очаги разрастания аденокарциномы интестинального типа.

В настоящее время лечение опухолей малого таза, особенно рецидивных, представляет собой сложную задачу, требующую не только высокой квалификации специалистов, но и использования передовых технологий для улучшения точности операций и уменьшения риска осложнений. После проведения первичной хирургической резекции и лучевой терапии анатомические ориентиры могут значительно измениться вследствие повреждения тканей и фиброза [8–12]. Это усложняет последующие хирургические вмешательства, удаление рецидивных опухолей, в том числе повторные биопсии. В подобных условиях проведение стандартной биопсии может быть затруднено, а риск повреждения сосудов, нервных структур и других жизненно важных органов существенно возрастает [13–16]. Использование дополненной реальности в хирургии рецидивных опухолей малого таза позволяет значительно улучшить результаты предоперационного планирования и интраоперационной навигации. В данном случае применение AR позволило не только точно локализовать опухоль, но и снизить риск повреждения жизненно важных структур, таких как сосуды и нервные окончания. Согласно исследованиям AR снижает время операции и уменьшает риск осложнений [17–20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение технологий дополненной реальности (AR) в диагностике и планировании хирургических вмешательств при опухолях малого таза демонстрирует высокую перспективность в современной онкологии. В данном клиническом случае использование AR-технологии обеспечило точную верификацию рецидива опухоли и позволило спланировать оптимальный доступ для выполнения биопсии. Это не только подтвердило диагноз, но и обеспечило выбор наиболее эффективной тактики лечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 World Health Organization. Colorectal cancer. Geneva: WHO (cited 2024 Nov 29). Available from: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/colorectal-cancer>
- 2 Seetohul J., Shafiee M., Sirlantzis K. Augmented Reality (AR) for surgical robotic and autonomous systems: state of the art, challenges, and solutions. *Sensors*. 2023;23(13):6202. DOI: 10.3390/s23136202
- 3 Xiao S.-X., Wu W.-T., Yu T.-C., Chen I.-H., Yeh K.-T. Augmenting reality in spinal surgery: a narrative review of augmented reality applications in pedicle screw instrumentation. *Medicina*. 2024;60(9):1485. DOI: 10.3390/medicina60091485

- 4 Shen Y., Wang S., Shen Y., Hu J. The application of augmented reality technology in perioperative visual guidance: technological advances and innovation challenges. *Sensors*. 2024;24(22):7363. DOI: 10.3390/s24227363
- 5 Heining S.M., Raykov V., Wolff O., Alkadhi H., Pape H.C., Waner G.A. Augmented reality-based surgical navigation of pelvic screw placement: an ex-vivo experimental feasibility study. *Patient Saf Surg*. 2024;18:3. DOI: 10.1186/s13037-023-00385-6
- 6 De Jesus Encarnacion Ramirez M., Chmutin G., Nurmukhametov R., Soto G.R., Kannan S., Piavchenko, et al. Integrating augmented reality in spine surgery: redefining precision with new technologies. *Brain Sci*. 2024;14(7):645. DOI: 10.3390/brainsci14070645
- 7 Sifted. How augmented reality is revolutionizing surgery. 2021 Mar 31 (cited 2024 Nov 29). Available from: <https://sifted.eu/articles/augmented-reality-ar-surgery>
- 8 Суров Д.А., Дымников Д.А., Соловьев И.А., Уточкин А.П., Габриелян М.А., Коржук М.С. и др. Госпитальная хирургия. СПб.: МОРСАР АВ; 2024.
- 9 Wang M., Wei M., Qin H., Wang B. The malignant solitary fibrous tumor in pelvic cavity: A case report and literature review. *Clin Surg*. 2022;7:3573.
- 10 Гребеньков В.Г., Румянцев В.Н., Иванов В.М., Балюра О.В., Дымников Д.А., Маркевич В.Ю. и др. Периоперационное применение технологии дополненной реальности при хирургическом лечении пациента с местнораспространенным локорегиональным рецидивом рака прямой кишки. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2022;12-2:44–53. DOI: 10.17116/hirurgia202212244
- 11 Schoeb D.S., Rassweiler J., Sigle A., Miernik A., Engels C., Goetzen A.S., et al. Robotics and intraoperative navigation. *Urologe A*. 2021;60(1):27–38. DOI: 10.1007/s00120-020-01405-4
- 12 Alessa F.M., Alhaag M.H., Al-Harkan I.M., Ramadan M.Z., Alqatani F.M. A Neurophysiological evaluation of cognitive load during augmented reality interactions in various industrial maintenance and assembly tasks. *Sensors*. 2023;23(18):7698. DOI: 10.3390/s23187698
- 13 Chen X., Li K. Robotic arm control system based on augmented reality brain-computer interface and computer vision. *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi*. 2021;38(3):483–91. Chinese. DOI: 10.7507/1001-5515.202011039
- 14 González Izard S., Sánchez Torres R., Alonso Plaza Ó., Juanes J.A. Nextmed: automatic imaging segmentation, 3D reconstruction, and 3D model visualization platform using augmented and virtual reality. *Sensors (Basel)*. 2020;20(10):2962. DOI: 10.3390/s20102962
- 15 Ivanov V.M., Krivtsov A.M., Strelkov S.V., Smirnov A.Y., Shipov R.Y., Grebenkov V.G., et al. Practical application of augmented/mixed reality technologies in surgery of abdominal cancer patients. *J Imaging*. 2022;8(7):183. DOI: 10.3390/jimaging8070183
- 16 Котив Б.Н., Будько И.А., Иванов И.А., Тросько И.У. Использование искусственного интеллекта для медицинской диагностики с помощью реализации экспертной системы. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2021;23(1):215–24. doi:10.17816/brmma63657.
- 17 Zawy Alsofy S., Nakamura M., Suleiman A., Sakellaropoulou I., Welzel Saravia H., Shalamberidze D., et al. Cerebral anatomy detection and surgical planning in patients with anterior skull base meningiomas using a virtual reality technique. *J Clin Med*. 2021;10(4):681. DOI: 10.3390/jcm10040681
- 18 Thomas D.J. Augmented reality in surgery: the computer-aided medicine revolution. *Int J Surg*. 2016;(36):25. DOI: 10.1016/j.ijsu.2016.10.003
- 19 Leuze C., Zoellner A., Schmidt A.R., Cushing R.E., Fischer M.J., Joltes K., et al. Augmented reality visualization tool for the future of tactical combat casualty care. *J Trauma Acute Care Surg*. 2021;(91):40–5. DOI: 10.1097/TA.0000000000003263
- 20 Ivanov V.M., Krivtsov A.M., Strelkov S.V., Kalakutskiy N.V., Yaremenko A.I., Petropavlovskaya M.Yu., et al. Intraoperative use of mixed reality technology in median neck and branchial cyst excision. *Future Internet*. 2021;(13):214. DOI: 10.3390/fi13080214

REFERENCES

- 1 World Health Organization. Colorectal cancer. Geneva: WHO (cited 2024 Nov 29). Available from: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/colorectal-cancer>
- 2 Seetohul J., Shafiee M., Sirlantzis K. Augmented Reality (AR) for surgical robotic and autonomous systems: state of the art, challenges, and solutions. *Sensors*. 2023;23(13):6202. DOI: 10.3390/s23136202

- 3 Xiao S.-X., Wu W.-T., Yu T.-C., Chen I.-H., Yeh K.-T. Augmenting reality in spinal surgery: a narrative review of augmented reality applications in pedicle screw instrumentation. *Medicina*. 2024;60(9):1485. DOI: 10.3390/medicina60091485
- 4 Shen Y., Wang S., Shen Y., Hu J. The application of augmented reality technology in perioperative visual guidance: technological advances and innovation challenges. *Sensors*. 2024;24(22):7363. DOI: 10.3390/s24227363
- 5 Heining S.M., Raykov V., Wolff O., Alkadhi H., Pape H.C., Wanner G.A. Augmented reality-based surgical navigation of pelvic screw placement: an ex-vivo experimental feasibility study. *Patient Saf Surg*. 2024;18:3. DOI: 10.1186/s13037-023-00385-6
- 6 De Jesus Encarnacion Ramirez M., Chmutin G., Nurmukhametov R., Soto G.R., Kannan S., Piavchenko, et al. Integrating augmented reality in spine surgery: redefining precision with new technologies. *Brain Sci*. 2024;14(7):645. DOI: 10.3390/brainsci14070645
- 7 Sifted. How augmented reality is revolutionizing surgery. 2021 Mar 31 (cited 2024 Nov 29). Available from: <https://sifted.eu/articles/augmented-reality-ar-surgery>
- 8 Surov D.A., Dymnikov D.A., Solovyev I.A., Utochkin A.P., Gabrielyan M.A., Korzhuk M.S., et al. *Hospital Surgery*. SPb: MORSAR AB; 2024.
- 9 Wang M., Wei M., Qin H., Wang B. The malignant solitary fibrous tumor in pelvic cavity: A case report and literature review. *Clin Surg*. 2022;7:3573.
- 10 Grebenkov V.G., Rumyantsev V.N., Ivanov V.M., Strelkov S.V., Balyura O.V., Dymnikov D.A., Markevich V.Yu., et al. Perioperative augmented reality technology in surgical treatment of locally advanced recurrent rectal cancer. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2022;(12-2):44–53 (In Russ.). DOI: 10.17116/hirurgia202212244
- 11 Schoeb D.S., Rassweiler J., Sigle A., Miernik A., Engels C., Goetzen A.S., et al. Robotics and intraoperative navigation. *Urologe A*. 2021;60(1):27–38. DOI: 10.1007/s00120-020-01405-4
- 12 Alessa F.M., Alhaag M.H., Al-Harkan I.M., Ramadan M.Z., Alqahatani F.M. A Neurophysiological evaluation of cognitive load during augmented reality interactions in various industrial maintenance and assembly tasks. *Sensors*. 2023;23(18):7698. DOI: 10.3390/s23187698
- 13 Chen X., Li K. Robotic arm control system based on augmented reality brain-computer interface and computer vision. *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi*. 2021;38(3):483–91. Chinese. DOI: 10.7507/1001-5515.202011039
- 14 González Izard S., Sánchez Torres R., Alonso Plaza Ó., Juanes J.A. Nextmed: automatic imaging segmentation, 3D reconstruction, and 3D model visualization platform using augmented and virtual reality. *Sensors (Basel)*. 2020;20(10):2962. DOI: 10.3390/s20102962
- 15 Ivanov V.M., Krivtsov A.M., Strelkov S.V., Smirnov A.Y., Shipov R.Y., Grebenkov V.G., et al. Practical application of augmented/mixed reality technologies in surgery of abdominal cancer patients. *J Imaging*. 2022;8(7):183. DOI: 10.3390/jimaging8070183
- 16 Kotiv B.N., Budko I.A., Ivanov I.A., Troško I.U. Artificial intelligence using for medical diagnosis via implementation of expert systems. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2021;23(1):215–24 (In Russ.). DOI: 10.17816/brmma63657
- 17 Zawy Alsofy S., Nakamura M., Suleiman A., Sakellaropoulou I., Welzel Saravia H., Shalamberidze D., et al. Cerebral anatomy detection and surgical planning in patients with anterior skull base meningiomas using a virtual reality technique. *J Clin Med*. 2021;10(4):681. DOI: 10.3390/jcm10040681
- 18 Thomas D.J. Augmented reality in surgery: the computer-aided medicine revolution. *Int J Surg*. 2016;(36):25. DOI: 10.1016/j.ijsu.2016.10.003
- 19 Leuze C., Zoellner A., Schmidt A.R., Cushing R.E., Fischer M.J., Joltes K., et al. Augmented reality visualization tool for the future of tactical combat casualty care. *J Trauma Acute Care Surg*. 2021;(91):40–5. DOI: 10.1097/TA.0000000000003263
- 20 Ivanov V.M., Krivtsov A.M., Strelkov S.V., Kalakutskiy N.V., Yaremenko A.I., Petropavlovskaya M.Yu., et al. Intraoperative use of mixed reality technology in median neck and branchial cyst excision. *Future Internet*. 2021;(13):214. DOI: 10.3390/fi13080214