

Doi: 10.52341/20738080_2025_135_2_31

КЛИНИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАКЕ ПОЧКИ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ



ЛОРАН О.Б.,
академик РАН, д.м.н., профессор, ведущий научный сотрудник ГБУЗ города Москвы «Московский многопрофильный научно-клинический центр имени С.П. Боткина» Департамента здравоохранения города Москвы, заведующий кафедрой урологии и хирургической андрологии ФГБОУ

ВО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, действительный член Европейской и Международной ассоциаций урологов, заслуженный деятель науки Российской Федерации, oleg_loran@gmail.com



ТАРАСОВ Р.А.,
старший лаборант кафедры урологии и хирургической андрологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, rodiontar@mail.ru



СЕРЕГИН А.А.,
к.м.н., доцент, врач-уролог урологического отделения № 41 Московского урологического центра ГБУЗ города Москвы «Московский многопрофильный научно-клинический центр имени С.П. Боткина» Департамента здравоохранения

города Москвы, профессор кафедры урологии и хирургической андрологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, sasha.seregin@gmail.com



БЕЛОЗЕРОВА С.Е.,
студентка лечебного факультета ФГАУ ВО «Российский национальный исследовательский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России, belozeroва_s19@mail.ru



СЕРЕГИН А.В.,
д.м.н., профессор, заведующий урологическим отделением № 41 Московского урологического центра ГБУЗ города Москвы «Московский многопрофильный научно-клинический центр имени С.П. Боткина» Департамента здравоохранения города

Москвы, профессор кафедры урологии и хирургической андрологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, заслуженный врач Российской Федерации, заслуженный врач города Москвы, av_seregin@mail.ru

Работа посвящена оценке клинических результатов применения трехмерных реконструкций на основе компьютерной томографии при раке почки.

Ключевые слова: рак почки, компьютерная томография, трехмерное моделирование, предоперационное планирование, периоперационные осложнения.

CLINICAL RESULTS OF THE USE OF THREE-DIMENSIONAL SIMULATION FOR RENAL CANCER. LITERATURE REVIEW

Loran O., Tarasov R., Seregin A.A., Belozeroва S., Seregin A.V.

The paper evaluates clinical results of the use of three-dimensional reconstructions based on computed tomography for renal cancer.

Key words: renal cancer, computed tomography three-dimensional simulation, preoperative planning, perioperative complications.

Введение

Компьютерная томография (КТ) – основной метод диагностики опухолей почки и планирования оперативного пособия.

Появившаяся в конце XX в. возможность получения прижизненных трехмерных изображений [1] открыла новые перспективы для диагностики и лечения различных заболеваний на основе данных, полученных с помощью КТ и магнитно-резонансной томографии (МРТ).

Существует несколько методов применения 3D-моделирования в урологии. Во-первых, это создание цифровых моделей для просмотра на персональном компьютере или другом графическом носителе. Во-вторых, существует возможность проведения виртуальных операций, что улучшает процесс предоперационной подготовки [2]. В-третьих, трехмерная рекон-

струкция может использоваться в виде мануальных твердотельных моделей, напечатанных на 3D-принтере [3]. Развивается и такой метод, как 3D-биопринтинг, благодаря которому удается получать индивидуальные импланты и протезы [4]. Кроме того, трехмерное моделирование применяется для навигации с использованием VR-очков для дополненной реальности [5, 6] или интеграцией в роботическую консоль, что обеспечивает новые уровни взаимодействия с окружающим миром [7].

В последние годы 3D-моделирование все чаще интегрируется с искусственным интеллектом для повышения эффективности хирургического лечения [8, 9].

Объемная реконструкция значительно облегчает визуальное восприятие КТ, однако большое количество работ и применяемых методик не позволяет судить о преимуществах 3D-моделирования в клинической практике.

Цель исследования

Оценить клинические результаты применения трехмерных реконструкций на основе КТ при раке почки.

Материалы и методы

В работе рассмотрены результаты применения 3D-моделирования для лечения опухолей почек при предоперационном планировании и влияние этого применения на периоперационные осложнения.

Проведен систематический поиск литературы в базах данных PubMed, Medline, e.Library за последние 10 лет по следующим терминам по отдельности или в сочетании: «Three-dimensional», «3D», «virtual reconstruction», «renal tumor», «kidney cancer», «рак почки», «трехмерная реконструкция» (последняя дата поиска – декабрь 2024 г.).

Критерии включения пациентов в исследование:

- наличие индивидуальной 3D-модели почки с опухолью с совмещением всех фаз в одно изображение;

- проанализированная роль трехмерной реконструкции в планировании оперативного вмешательства и/или ее влияние на периоперационные осложнения;

- запланированные и/или выполненные резекции почки с опухолью.

Критерии исключения:

- отсутствие доступа к полнотекстовой статье;

- возраст пациентов менее 18 лет;

- отсутствие ключевых данных или учета результатов.

Результаты

В ходе начального поиска литературы по ключевым словам с использованием фильтров в базах данных было обнаружено 928 публикаций. После первого этапа отбора 842 статьи были исключены, так как они не соответствовали тематике настоящего обзора. Затем из оставшихся материалов было удалено 7 дубликатов. В итоге для более глубокого анализа были отобраны 79 публикаций, из которых 60 сочли несоответствующими установленным критериям, и они также были исключены. В финальный анализ вошли 19 материалов, кроме того, после изучения ссылок из других публикаций было добавлено еще 5 статей. Таким образом, общее количество публикаций, включенных в систематический обзор, составило 24. Результаты проведенного анализа литературы в обобщенном виде представлены в таблице на сс. 33–34.

При анализе литературы были выявлены явные преимущества использования 3D-реконструкции, и все публикации были систематизированы по 5 разделам.

Оптимальный выбор объема и метода оперативного вмешательства

R. Bertolo и соавт. в своей работе демонстрировали 27 опытным врачам, 27 молодым урологам и 61 ординатору плоскостные КТ-изображения, а затем соответствующие 3D-реконструкции 20 сложных опухолей почек, полученные с помощью специализированного программного обеспечения Huger Accugacy 3D (MEDICS, Италия). Всего было 542 просмотра. После демонстраций соответствующих 3D-реконструкций в 148 случаях респонденты изменили свое мнение: показания к резекции почки были повышены в 404 случаях (74,5%). Мнения менялись независимо от хирургического опыта. *R. Bertolo и соавт.* считают, что применение трехмерной реконструкции может привести к более широкому принятию нефронсберегающего подхода [10].

В исследование *W.C. Lin и соавт.* было включено 6 больных с одиночными опухолями почек. На основании проведенного трехмерного моделирования был осуществлен выбор метода оперативного вмешательства: 4 пациентам выполнена робот-ассистированная резекция почки,

Анализ литературных источников по применению 3D-моделирования

№	Авторы	Год	Число участников и выполненных 3D-реконструкций	Используемое программное обеспечение для 3D-визуализации	Результаты
1.	<i>Bertolo R., Autorino R., Fiori C. и соавт.</i>	2018	20 реконструкций просматривали 115 урологов	Hyper Accuracy 3D (MEDICS, Италия)	Изменения выбора метода хирургического вмешательства. Увеличение частоты нефронсберегающего подхода
2.	<i>Lin W.C., Chang C.H., Chang Y.H., Lin C.H.</i>	2020	6 пациентов 6 реконструкций	–	Оптимальный выбор метода хирургического вмешательства для профилактики периоперационных осложнений
3.	<i>Azhar R.A.</i>	2023	6 реконструкций просматривали 100 урологов	Снимки КТ были загружены на сайт инновационной лаборатории для получения 3D-моделей	Увеличение частоты выбора минимально инвазивного и нефронсберегающего подхода; уменьшение предпочтений к открытому хирургическому доступу
4.	<i>Wang D., Zhang B., Yuan X., Zhang X., Liu C.</i>	2015	44 пациента 21 реконструкция	3D-MIRGS (Китай)	Снижение общего времени оперативного вмешательства и объема кровопотери
5.	<i>Hu Z.F., Lv S.D., Huang J.F. и соавт.</i>	2018	75 пациентов 37 реконструкций	Uromedix-3D (Китай)	Снижение времени оперативного вмешательства за счет уменьшения времени резекции опухоли, наложения шва и времени тепловой ишемии
6.	<i>Zhang H., Yin F., Yang L. и соавт.</i>	2021	30 пациентов 15 реконструкций	Mimics 17.0 (Materialise, Бельгия)	Снижение общего времени оперативного вмешательства
7.	<i>Wu X., Jiang C., Wu G. и соавт.</i>	2020	60 пациентов 30 реконструкций	Mimics, 3-matic и Magics (Materialise, Бельгия)	Уменьшение объема интраоперационной кровопотери, снижение общего времени оперативного вмешательства
8.	<i>Shirk J.D., Thiel D.D., Wallen E.M. и др.</i>	2019	92 пациента 44 реконструкции	Reveal версий 2.1-2.3 (Ceevra)	Уменьшение объема интраоперационной кровопотери
9.	<i>Аляев Ю.Г., Сирота Е.С., Безруков Е.А., Суханов Р.Б.</i>	2018	314 пациентов 53 реконструкции	Amira 5.4.4 (Thermo Fisher Scientific)	Уменьшение объема интраоперационной кровопотери, снижение общего времени оперативного вмешательства, времени тепловой ишемии и увеличение частоты селективной ишемии
10.	<i>Wang Z., Qi L., Yuan P., Zu X. и соавт.</i>	2017	94 пациента 49 реконструкций	Medical Imaging Three Divisional Visualization System (Yorktal, Inc., Китай)	Уменьшение частоты послеоперационной экстравазации мочи, снижение общего времени операции
11.	<i>Porpiglia F., Checcucci E., Amparore D. и соавт.</i>	2020	91 пациент 48 реконструкций	Hyper Accuracy 3D (MEDICS, Италия)	Уменьшение частоты нарушения собирательной системы, частоты пережатия основной почечной артерии; увеличение частоты энуклеации опухоли
12.	<i>Ueno D., Makiyama K., Yamanaka H. и соавт.</i>	2014	5 пациентов 5 реконструкций	VoTracer (Symantec Corporation, США)	Виртуальное трехмерное моделирование позволяет определить оптимальный отступ от границ опухоли
13.	<i>Komai Y., Sakai Y., Gotohda N. и соавт.</i>	2014	26 пациентов 26 реконструкций	Synapse Vincent (Fujifilm, Япония)	Во всех случаях оперативное пособие выполнено без ишемии, получены отрицательные хирургические края, ни одному пациенту не потребовалось переливание крови

Анализ литературных источников по применению 3D-моделирования

14.	<i>Семякин И.В., Гаджиев Н.К., Габдуллин А.Ф. и соавт.</i>	2021	47 пациентов 23 реконструкции	Использование смарт-очков с программным пакетом HLOIA	Уменьшение частоты по- ложительного хирургическо- го края, снижение общего времени оперативного вмешательства и уменьшение объема кровопотери
15.	<i>Michiels C., Khene Z.E., Prudhomme T. и соавт.</i>	2021	645 пациентов 157 реконструкций	Synapse 3D Kidney analysis (версия 2.4, Fujifilm, Япония)	Лучшие функциональные результаты (выше частота со- хранения СКФ), уменьшение частоты серьезных осложне- ний (Clavien–Dindo ≥III)
16.	<i>Kobayashi S., Tsukino K., Mutaguchi J. и соавт.</i>	2024	142 пациента 71 реконструкция	–	Лучшие функциональные результаты (выше частота сохранения СКФ, выше объ- ем сохранения паренхимы и ниже частота увеличения стадии ХБП)
17.	<i>Wang J., Lu Y., Wu G., Wang T. и соавт.</i>	2019	49 пациентов 21 реконструкция	IQQA (EDDA Technology, Принстон, США)	Уменьшение времени те- пловой ишемии, времени резекции опухоли и времени наложения швов
18.	<i>Li L., Zeng X., Yang C., Un W., Hu Z.</i>	2021	41 пациент 16 реконструкций	Inlook 3D (Hubei Yingku Technology, Китай)	Уменьшение частоты исполь- зования тепловой ишемии, увеличение частоты селек- тивной ишемии. Снижение общего времени оперативно- го вмешательства.
19.	<i>Bianchi L., Barbaresi U., Cercenelli L. и соавт.</i>	2020	36 пациентов 21 реконструкция	D2P – «DICOM to PRINT» (3D Systems Inc., США)	Увеличение частоты селек- тивной ишемии
20.	<i>Shao P., Li P., Xu Y., Cao Q. и соавт.</i>	2014	75 пациентов 75 реконструкций	–	Изменение запланированного пережатия главной почечной артерии в сторону более селективной ишемии
21.	<i>Bianchi L., Cercenelli L., Bortolani B. и соавт.</i>	2022	175 пациентов 94 реконструкции	D2P – «DICOM to PRINT» (3D Systems Inc., США)	Увеличение частоты более селективного пережатия артерий, увеличения частоты трифекта (отрицательный хирургический край, отсут- ствие осложнений по шкале Clavien–Dindo III и более, сни- жение СКФ после операции менее, чем на 30%)
22.	<i>Campi R., Sessa F., Rivetti A., Pecoraro A. и соавт.</i>	2021	1 пациент 1 реконструкция	Hyper Accuracy 3D (MEDICS, Италия)	Успешное оперативное вме- шательство у пациента с 2 опухолями подковообраз- ной почки T3aNxMx и T1bNxMx без интраоперационных осложнений с отрицательны- ми хирургическими краями
23.	<i>Nguyen T.T., Thai M.S., Chau Q.T. и соавт.</i>	2024	2 пациента 2 реконструкция	Synapse (Fujifilm, Япония)	Успешные оперативные вме- шательства у 2 пациентов с опухолями удвоенных почек с достижением отрицательных хирургических краев и со- хранной почечной функцией через месяц наблюдения
24.	<i>Kannan D., Sankaran S., Tiwari M., Bafna S., Ragavan N.</i>	2023	1 пациент 1 реконструкция	Лаборатория Innersight (Велико- британия)	Успешное оперативное вмешательство у пациент- ки с опухолью в сростшейся эктопированной почке без ишемии с достижением от- рицательного хирургического края

1 – лапароскопическая резекция и 1 – лапароскопическая радикальная нефрэктомия. Интраоперационных или послеоперационных осложнений (таких, как свищ, псевдоаневризма, гематома, подтекание мочи или инфекция) не отмечалось. Функция почек была сохранена у всех пациентов. Кроме того, ни у одного из них не наблюдались признаки рецидива более 6 лет наблюдения. Однако у 1 пациента через 2 года после первой резекции в контралатеральной почке был обнаружен почечно-клеточный рак (ПКР), а затем больной успешно перенес еще одну резекцию [11].

В работе *R.A. Azhar* оценивалась роль трехмерной реконструкции в предоперационном планировании сложных опухолей почек. 100 урологам с разным уровнем подготовки было предложено сначала просмотреть снимки КТ 6 пациентов, а затем в случайном порядке были продемонстрированы соответствующие 3D-реконструкции почек с опухолью. Просмотр трехмерных изображений увеличил выбор метода резекции почки, при этом необходимость в радикальной нефрэктомии уменьшилась. Уменьшилось и предпочтение открытого хирургического доступа (21,2% без применения 3D-реконструкции по сравнению 12,1% при ее применении). Было отмечено большее предпочтение роботизированного доступа. Методы ишемии изменились в пользу селективного пережатия артерий или безышемической резекции. *R.A. Azhar* считает, что 3D-моделирование играет важную роль в изменении стратегии хирургического планирования для пациентов с опухолями почек, особенно для тех, кому показан минимально инвазивный и/или нефронсберегающий подход [12].

Уменьшение времени оперативного вмешательства

D. Wang и соавт. провели исследование 44 чел. с локализованной опухолью почки, которым была проведена забрюшинная лапароскопическая резекция почки. В 23 случаях хирурги просматривали только снимки КТ (*контрольная группа*), в 21 случае выполнена предоперационная подготовка с использованием 3D-моделирования (*основная группа*). Трехмерная реконструкция осуществлялась с помощью программного обеспечения 3D-MIRGS (Китай). *D. Wang и соавт.* сообщают о точном соответствии

трехмерной реконструкции сосудистой сети реальной анатомии большого интраоперационно. Исследование показало достоверное снижение операционного времени в основной группе с применением 3D-моделирования (159,0 мин. против 193,2 мин. в контрольной группе). Кроме того, в основной группе отмечалось снижение кровопотери (148,1 мл против 176,1 мл в контрольной) [13].

Z.F. Ни и соавт. для исследования отобрали 75 пациентов с опухолью почки, которых разделили на две группы. В *основной группе* (37 чел.) выполнялась трехмерная реконструкция с помощью программного обеспечения, разработанного авторами, – «Uromedix-3D». Важно отметить, что время реконструкции в данном случае составляло всего 29,3±9,7 мин. В *контрольной группе* (38 чел.) предоперационно просматривались только изображения КТ. Во всех 75 случаях произведена лапароскопическая резекция почки с опухолью. Интраоперационные результаты показали, что время проведения хирургического вмешательства в основной группе было меньше, чем в контрольной (116,8 мин. против 131,6 мин. соответственно) за счет уменьшения времени резекции опухоли (8,4 мин. в основной группе против 10,4 мин. в контрольной), времени наложения шва (18,3 мин. в основной против 21,5 мин. в контрольной группе), а также уменьшение времени тепловой ишемии (26,7 мин. в основной против 31,9 мин. в контрольной группе) [14].

В рамках исследования, проведенного *H. Zhang и соавт.*, было задействовано 30 пациентов с опухолью почки. Они были разделены на две группы по 15 чел.: *основную* (с использованием в предоперационной подготовке 3D-реконструкции) и *контрольную* (без таковой). Для создания трехмерных моделей применялось программное обеспечение Mimics 17.0 (Materialise, Бельгия). Всем больным была выполнена лапароскопическая резекция почки с опухолью. В сравнительном анализе выявлено, что время оперативного вмешательства в основной группе было заметно ниже, чем в контрольной (131,5 мин. против 158,7 мин.), в то время как различия по другим показателям не были статистически значимыми. *H. Zhang и соавт.* считают, что 3D-моделирование имеет высокую клиническую значимость и оно может повысить эффективность и безопасность резекции почки с опухолью [15].

**Снижение частоты
периоперационных осложнений**

Уменьшение интраоперационной
кровопотери

В исследовании, проведенное X. Wu и соавт., были включены 60 больных, которым запланирована лапароскопическая резекция почки с опухолью. Эти пациенты были разделены на две группы по 30 чел. В *основной группе* использовалась 3D-реконструкция для предоперационной подготовки, в то время как в *контрольной группе* она не применялась. Для создания трёхмерных моделей использовалось программное обеспечение Mimics, 3-matic и Magics (Materialise, Бельгия). В результате все оперативные вмешательства выполнены без ишемии с достижением отрицательного хирургического края одним хирургом. В основной группе выявлено уменьшение кровопотери, по сравнению с контрольной группой (130,3 мл против 179,0 мл). Кроме того, в основной группе было отмечено уменьшение времени операции (125 мин. против 136,6 мин. в контрольной). В возникновении других периоперационных осложнений статистических различий не выявлено [16].

J.D. Shirk и соавт. провели слепое рандомизированное контролируемое исследование 92 пациентов, которым была применена робот-ассистированная резекция почки с опухолью. В *основной группе* (44 чел.) проводилось 3D-моделирование патологического процесса с помощью программного обеспечения Reveal версий 2.1–2.3 (Seeva). *Контрольная группа*, в которой 3D-планирование не применялось, включала 48 чел. В результате проведенных хирургических вмешательств время самой операции, время тепловой ишемии и продолжительность пребывания в стационаре не показали существенных различий. Однако кровопотеря в основной группе была меньше, чем в контрольной (124,5 мл против 145,7 мл). J.D. Shirk и соавт. пришли к выводу, что трехмерная реконструкция устраняет ключевые ограничения в процессе хирургического планирования, позволяя достичь улучшения результатов оперативного лечения [17].

В работе отечественного автора Ю.Г. Аляева и др. (2018) были описаны пациенты, которым выполнили лапароскопическую резекцию почки. Из них были сформированы 2 однородные группы по 53 чел. В основной группе

3D-реконструкция осуществлялась с помощью программного обеспечения Amira 5.4.4 (Thermo Fisher Scientific), а в контрольной группе 3D-моделирование не применялось. Результаты показали, что больные основной группы имели статистически значимое преимущество перед больными контрольной группы – по меньшей кровопотере (102 мл против 278 мл соответственно) и меньшему времени тепловой ишемии (12 мин. против 15,6 мин. соответственно). Кроме того, применение 3D-реконструкции при подготовке к резекции почки позволило уменьшить время выполнения операции (113,4 мин. против 152,0 мин. в контрольной группе) и чаще применять селективную ишемию [18].

Снижение частоты вскрытия
чашечно-лоханочной системы
и экстравазации мочи

Z. Wang и соавт. в своей работе исследовали 94 чел. с ПКР сТ1, которым была проведена лапароскопическая резекция почки с опухолью. 49 пациентам (*первая группа*) было выполнено 3D-моделирование с помощью программного обеспечения Medical Imaging Three Divisional Visualization System (Yorktal, Inc., Китай). Во второй группе (45 больных) изучались только снимки КТ. При сравнительном анализе двух групп не было обнаружено существенной разницы в объеме кровопотери, частоте селективного пережатия артерий, времени тепловой ишемии, а также в изменениях послеоперационной функции почек. Однако при резекции почки с оценкой по шкале R.E.N.A.L. ≥ 8 частота послеоперационной экстравазации мочи была значительно уменьшена (4,0% в первой группе против 22,2% во второй). Кроме того, в первой группе отмечалось уменьшение времени самого оперативного вмешательства (126,7 мин. против 154,8 мин. во второй группе) [19].

F. Porpiglia и соавт. сравнивали эффективность 3D-реконструкции с интраоперационным применением УЗИ для определения локализации интрапаренхиматозных опухолей почки. В исследование был включен 91 пациент для робот-ассистированной резекции почки (PADUA ≥ 10). Первая группа с просмотром 3D-изображений, выполненных с помощью программного обеспечения Huger Accugacy 3D (MEDICS, Италия), включала 48 чел. Во *второй группе* из 43 больных интраоперационно применялось

УЗИ. В результате проведенных операций *F. Porpiglia и соавт.* отметили, что использование 3D-реконструкции позволяет достичь более низкой частоты вскрытия чашечно-лоханочной системы (ЧЛС) (10,4% против 45,5%). Кроме того, в первой группе удалось добиться более низкой частоты пережатия основной почечной артерии (45,8% против 69,7%) и более высокой частоты энуклеации (62,5% против 37,5%). *F. Porpiglia и соавт.* пришли к выводу, что применение трехмерного моделирования позволяет точнее определить опухоль и интрапаренхиматозные структуры [20].

D. Ueno и соавт. спрогнозировали вероятность вскрытия ЧЛС при резекции почки с помощью 3D-моделирования. В своем ретроспективном исследовании пяти пациентов, перенесших лапароскопическую резекцию почки, они разработали метод прогнозирования вскрытия ЧЛС и положения отверстия при лапароскопической резекции по 3D-изображениям. В рамках разработанной ими программы *VoTracer* (Symantec Corporation, США) была проведена виртуальная симуляция резекции почки с различными параметрами отступа от края опухоли: 1, 3 и 5 мм. Все результаты виртуальной операции были сопоставимы с реальным оперативным вмешательством. *D. Ueno и соавт.* считают, что благодаря возможности виртуального планирования операции можно определить оптимальный отступ от границ опухоли на стадии предоперационной подготовки [21].

Увеличение частоты достижения отрицательного хирургического края

В исследование *Y. Kawai и соавт.* (2014) были включены 26 пациентов, которым выполнили 3D-реконструкцию с использованием программного обеспечения *Synapse Vincent* (Fujifilm, Япония). В результате всем 26 больным провели резекцию почки с опухолью с отрицательными хирургическими краями и без ишемии, при этом переливание крови не потребовалось. Во время оперативного вмешательства хирурги подтвердили точность реконструированных 3D-изображений и анатомическое соответствие во всех случаях. Кроме того, при опросе пациентов было отмечено, что 3D-изображения помогли им понять статус своего заболевания и хирургические риски [22].

В работе российского ученого *Семьякина И.В. и соавт.* (2021) исследуют-

ся 47 пациентов, которым была выполнена лапароскопическая резекция почки. Больные были разделены на две группы случайным образом: в *контрольной группе* (24 чел.) использовалась интраоперационная ультразвуковая навигация, а в *группе исследования* (23 чел.) операция выполнялась с использованием дополненной реальности. В смарт-очках (VR) была воссоздана индивидуальная объемная модель органа, пораженного опухолью, с помощью программного пакета *HLOIA*. Трехмерное моделирование с использованием VR-очков (смешанной реальности) позволило достичь преимуществ в уменьшении частоты положительного хирургического края (0% в группе исследования против 8,3% в контрольной группе). Кроме того, было отмечено уменьшение времени операции (95 мин. в группе исследования против 106 мин. в контрольной группе) и объема кровопотери (100 мл против 150 мл соответственно) [23].

Достижение лучших функциональных результатов

Сохранение функционального состояния почечной паренхимы

C. Michiels и соавт. провели многоцентровое исследование пациентов, из которых создали 2 однородные группы по 157 больных. В *первой группе* проведено предоперационное планирование с использованием 3D-реконструкции, созданной при помощи программного обеспечения *Synapse 3D Kidney analysis* (версия 2.4, Fujifilm, Япония). Во *второй группе* использовался только просмотр плоскостных КТ-изображений. Всем 314 больным провели робот-ассистированную резекцию почки с опухолью. При ретроспективном анализе было выявлено, что процентная вариация скорости клубочковой фильтрации (СКФ) была ниже в группе 3D-моделирования, по сравнению с традиционной предоперационной подготовкой (-5,6% в первой группе против -10,5% во второй). В дополнение *C. Michiels и соавт.* отмечают, что частота серьезных осложнений была ниже в группе исследования (3,8% против 9,5%) [24].

S. Kobayashi и соавт. оценивали применение трехмерной визуализации в улучшении функционального результата при резекции почки. В исследовании было включено 142 пациента, которых случайным образом разделили на 2 однородные группы по 71 чел. с исполь-

зованием на предоперационном этапе 3D-реконструкции и без её использования. После оперативного вмешательства был проведен сравнительный анализ. В группе 3D-моделирования была выше частота сохранения СКФ (91,6% против 88,0% без 3D-реконструкции), реже наблюдалось увеличение стадии хронической болезни почек (ХБП) (13 против 26 соответственно) и был выше коэффициент сохранения объема паренхимы (88,8% против 81,6% соответственно). *S. Kobayashi и соавт.* считают, что применение трехмерной визуализации почки с опухолью в предоперационном периоде является предиктором сохранного функционального результата [25].

Уменьшение времени и частоты тепловой ишемии

J. Wang и соавт. провели ретроспективное исследование с участием 49 пациентов, перенесших резекцию почки с опухолью R.E.N.A.L.≥8. 21 больному основной группы выполнена предоперационная подготовка с 3D-реконструкцией в программном обеспечении IQQA (EDDA Technology, Принстон, США). Остальным 28 пациентам контрольной группы 3D-реконструкция не выполнялась. В сравнительном анализе было отмечено более короткое время тепловой ишемии у пациентов основной группы (21 мин.) в сравнении с контрольной (26 мин.). Кроме того, в основной группе сократилось время резекции опухоли (9 мин.), по сравнению с контрольной (13 мин.), и времени наложения швов (11 мин. против 16 мин. соответственно). *J. Wang и соавт.* считают, что применение трехмерных изображений приводит к большему сохранению почечной паренхимы и более короткому времени тепловой ишемии, что способствует достижению лучшего функционального результата [26].

L. Li и соавт. в своей работе сравнили результаты робот-ассистированной резекции почки с опухолью у 41 пациента, которых разделили на 2 группы. В первой группе (16 чел.) использовалась 3D-реконструкция с помощью программного обеспечения Inlook 3D (Hubei Yingku Technology, Китай), во второй группе (25 чел.) 3D-реконструкция не использовалась. Было установлено, что использование 3D-моделирования привело к уменьшению частоты тепловой ишемии (37,5% в первой группе против 76% во

второй) и увеличению частоты селективного зажима (56,2% против 20% соответственно). Кроме того, в первой группе, по сравнению со второй, заметно уменьшилось время самой операции (116,1 мин. и 126,5 мин. соответственно) [27].

Увеличение частоты селективного пережатия артерий

L. Bianchi и соавт. в своем исследовании (2020) оценили влияние трехмерной реконструкции почки на выбор пережатия артерий при резекции почки с опухолью. 36 пациентов, которым планировалось наложение сосудистого зажима во время операции, разделили на группу исследования (21 чел.) с выполнением 3D-моделирования в предоперационной подготовке и контрольную группу (15 чел.) без проведения таковой. 3D-модели были получены с применением программного обеспечения D2P – «DICOM to PRINT» (3D Systems Inc., США). Результаты показали, что в группе исследования хирурги чаще выбирали пережатие артерий (81% против 6,7% в контрольной группе). Фактическое селективное артериальное пережатие во время операции было выполнено у 12 (57,1%) пациентов группы исследования и у 2 (13,3%) пациентов контрольной группы [28].

В работе *P. Shao и соавт.* исследованы 75 чел., которым была выполнена лапароскопическая резекция почки с опухолью. Все случаи ПКР дополнительно визуализировались с помощью построения 3D-моделей. В результате среднее время операции составило 82,6 мин., а среднее время тепловой ишемии – 20,3 мин. Частота осложнений Clavien-Dindo I-й и II-й степеней составила 5,3% и 5,3% соответственно. По сравнению с ориентацией только на КТ использование комбинированной 3D-модели привело к изменению запланированного пережатия главной почечной артерии в 18 случаях (24%). *P. Shao и соавт.* считают, что комбинированная 3D-модель облегчает ориентацию целевой артерии [29].

В исследовании *L. Bianchi и соавт.* (2022) были включены 175 пациентов с опухолью почки стадии cT1–T2, которым запланировали лапароскопическую резекцию почки. Их разбили на две группы: основную (94 чел.), где в предоперационном планировании хирург просматривал как снимки КТ, так и 3D-модели,

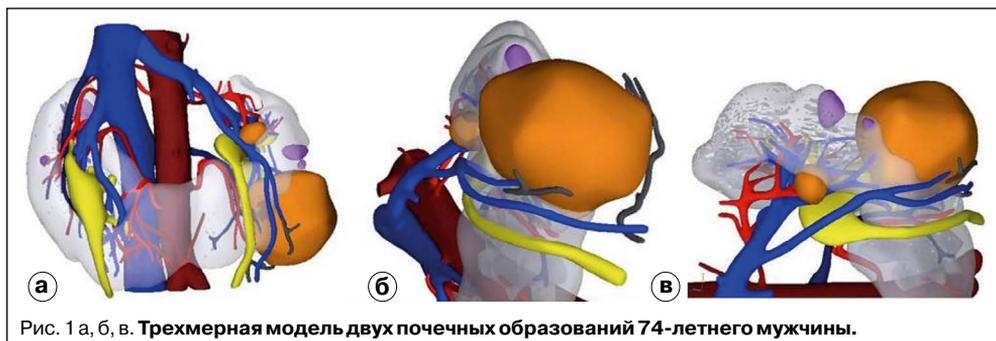


Рис. 1 а, б, в. Трехмерная модель двух почечных образований 74-летнего мужчины.

созданные на основе этих снимков, и *контрольную* (81 чел.), где перед операцией просматривались только снимки КТ. Трехмерные изображения были созданы с помощью программного обеспечения D2P – «DICOM to PRINT» (3D Systems Inc., США). В основной группе метод пережатия артерий был зарегистрирован как безышемический, магистральный и селективный в 22 (24,2%), 22 (24,2%) и 47 (51,6%) случаях, по сравнению с 31 (36,9%), 46 (54,8%) и 7 (8,3%) случаями (соответственно) в контрольной группе. Кроме того, частота достижения трифекты (отрицательный хирургический край, отсутствие осложнений по шкале Clavien–Dindo III и более, снижение СКФ после операции менее, чем на 30%) пациентами основной группы составила 73 (80,2%) случая против 53 (63,1%) случаев у больных контрольной группы. Было обнаружено, что использование 3D-модели является независимым предиктором как селективного, так и суперселективного зажима [30].

Применение 3D-моделирования при аномалиях мочевыводящей системы

Целесообразно выделить отдельный раздел, посвященный использованию трехмерной реконструкции в нестандартных клинических ситуациях – таких, как аномалии развития мочевыводящей системы. Это позволит более глубоко проанализировать и понять, как 3D-моделирование может помочь в диагностике, планировании и лечении таких сложных случаев. Важно рассмотреть существующие исследования, которые демонстрируют эффективность применения трехмерной реконструкции в этих ситуациях, так как они могут существенно улучшить подходы к лечению пациентов с уникальными анатомическими особенностями.

R. Campi и соавт. опубликовали клинический пример 74-летнего мужчины с двумя опухолями подковообразной почки PADUA 9. С помощью программного обеспечения Hyper Assurasy 3D (MEDICS, Италия) на основе изображений КТ была создана виртуальная 3D-модель почки (рис. 1). Пациенту выполнили робот-ассистированную резекцию двух почечных образований. Общее время операции составило 150 мин., время тепловой ишемии – 21 мин., кровопотеря – 160 мл. Интраоперационных осложнений не возникало. Больного выписали на 4 сутки в удовлетворительном клиническом состоянии с СКФ 66 мл/мин./1,73 м². При гистологическом исследовании была установлена патоморфологическая стадия T3aNxMx для одного образования и T1bNxMx – для другого. Обе опухоли характеризовались отрицательными хирургическими краями [31].

T.T. Nguyen и соавт. продемонстрировали 2 клинических примера: 45-летнего мужчины и 54-летней женщины с локализованным раком удвоенной почки. Используя платформу искусственного интеллекта Synapse (Fujifilm, Япония), были созданы 3D-реконструкции почек пациентов (рис. 2 на с. 40). Обоим выполнили робот-ассистированную резекцию почки с опухолью. В первом случае время операции составило 140 мин., время тепловой ишемии – 23 мин., общая кровопотеря – около 50 мл. Во втором случае время операции заняло 150 мин., время тепловой ишемии – 28 мин., общая кровопотеря – около 60 мл. В обоих случаях получены отрицательные хирургические края и сохранная функция почек через месяц наблюдения. *T.T. Nguyen и соавт.* считают, что применение методики 3D-моделирования имеет перспективы в сложных клинических сценариях в плане повышения точности диагностики и планирования лечения [32].

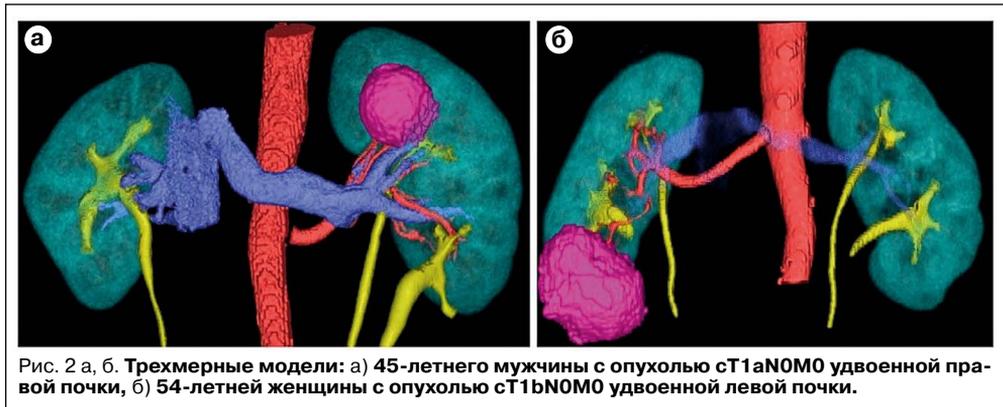


Рис. 2 а, б. Трехмерные модели: а) 45-летнего мужчины с опухолью cT1aN0M0 удвоенной правой почки, б) 54-летней женщины с опухолью cT1bN0M0 удвоенной левой почки.

Обсуждение

Как уже отмечалось, проведенный анализ литературы охватывает 24 исследования, которые подчеркивают клиническую ценность и преимущества использования 3D-моделей почек с опухолью при выборе органосохраняющего подхода. Результаты демонстрируют, что такие модели значительно улучшают визуализацию анатомии, способствуют более точному планированию метода и объема оперативного вмешательства, а также сокращают время операции. Кроме того, они помогают снизить частоту периоперационных осложнений и обеспечивают достижение более благоприятных функциональных результатов для пациентов.

В других источниках по данной теме, включая работы *C.G. Moldovanu и соавт.* [33], *F. Porpiglia и соавт.* [34], *K. Makiyama и соавт.* [35], были получены аналогичные результаты. Эти исследования подтвердили значимость трехмерных технологий в снижении рисков, повышении точности, безопасности и эффективности хирургического вмешательства. Кроме того, *C.G. Moldovanu и соавт.* отметили значительные успехи как в понимании пациентами своего состояния, так и в обучении студентов и хирургов [33]. *K. Makiyama и др.* акцентировали внимание на перспективах применения VR-технологий в сочетании с 3D-реконструкцией [35].

Несмотря на преимущества 3D-моделирования, обзор выявил ряд существенных недостатков в анализируемых публикациях:

- невысокий уровень доказательности приведенных результатов, что связано с недостатком рандомизированных иссле-

дований; большинство имеют ретроспективный дизайн [14, 15];

- ограниченная выборка в некоторых работах, что снижает их значимость (статистическую) [11];

- ограниченное количество унифицированных методов создания 3D-моделей, различия в используемом программном обеспечении, его высокая стоимость, отсутствие многоцентровых рандомизированных исследований [21, 29].

Все это усложняет интерпретацию и обобщение полученных данных.

Заключение

В отличие от традиционной 2D-визуализации 3D-виртуальная реальность предлагает более интуитивный и наглядный подход к пониманию анатомических особенностей и оперативного вмешательства. Это, в свою очередь, может оказать положительное влияние на результаты лечения и уменьшить риск возникновения осложнений.

Несмотря на то, что большинство работ представляет опыт отдельных исследовательских центров, а рандомизированные многоцентровые исследования отсутствуют, трехмерное моделирование является неотъемлемой частью современного подхода к лечению рака почки, открывая новые горизонты для повышения эффективности и безопасности нефрон-сберегающего лечения.

Литература

