Влияние применения смешанной реальности на кривую обучения лапароскопической нефрэктомии

ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ

Габдуллин Амир Фаилевич –
врач-уролог урологического
отделения ФГБОУ ВО МГМСУ
им. А.И. Евдокимова Минздрава
России (Москва, Российская
Федерация)
E-mail: Dr.Gabdullin@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9989-7879>

Габдуллин А.Ф.¹, Погосян Р.Р.¹, Джалилов И.Б.², Гаджиев Н.К.²,
Семенякин И.В.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 127473, г. Москва, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 197022, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Ключевые слова:

лапароскопическая
нефрэктомия, кривая
обучения, смешанная
реальность, HLOIA®,
опухоль почки

Цель – оценить эффективность и безопасность применения смешанной реальности (mixed reality – MR) на кривую обучения хирургов лапароскопической нефрэктомии (ЛНЭ).

Материал и методы. В проспективное исследование были набраны 40 пациентов, перенесших ЛНЭ; у 20 пациентов результаты мультиспиральной компьютерной томографии мочевого делительной системы с контрастным усилением (МСКТ МВС) были преобразованы в модели MR. Платформа MR позволила хирургам прорабатывать и разбирать анатомию почек в предоперационном периоде, применять модель органа непосредственно в ходе операции; объемные модели пораженного органа использовались в ходе беседы хирургов с пациентами при объяснении этапов оперативного пособия. Разработанные анкеты-опросники по принципу психометрических шкал Лайкерта позволили оценить пользу MR-модели в процессе изучения анатомии почек пациентов хирургами. Специалисты оценили влияние MR на кривую обучения технике лапароскопической нефрэктомии. Хирургические результаты для когорты пациентов с MR сравнивали с проспективно подобранной когортой из 20 пациентов с ЛНЭ без MR.

Результаты. Среднее время операции в группе MR было значительно ниже по сравнению с группой без MR (78,5 против 95,6 мин, $p < 0,05$). Различия в показателях интраоперационной кровопотери составили 58 против 150 мл ($p = 0,081$). Частота послеоперационных осложнений составила 5 против 15%; ($p = 0,09$) для группы MR и группы без MR соответственно. Между обеими группами не было существенной разницы в сроках пребывания в стационаре (72 ± 4 против 48 ± 5 ч, $p = 0,01$). Начинаящий хирург достиг плато после 20 оперативных пособий.

Заключение. Возможность работы в среде MR специалистами в предоперационный период изменила подход к оперативному пособию, сократила время операции и улучшила результаты ЛНЭ. Опыт применения технологии смешанной реальности в ходе обучения технике лапароскопической нефрэктомии показывает хорошие результаты по скорости выхода на плато оперативных пособий без осложнений. Процесс подготовки и использования объемной модели органа в ходе обучения ЛНЭ не вызывает затруднений у специалистов и приводит к ускорению обучения технике оперативного пособия без потери качества.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Габдуллин А.Ф., Погосян Р.Р., Джалилов И.Б., Гаджиев Н.К., Семенякин И.В. Влияние применения смешанной реальности на кривую обучения лапароскопической нефрэктомии // Клиническая и экспериментальная хирургия. Журнал имени академика Б.В. Петровского. 2021. Т. 9, № 4. С. 124–130. DOI: <https://doi.org/10.33029/2308-1198-2021-9-4-124-130>

Статья поступила в редакцию 07.10.2021. **Принята в печать** 01.11.2021.

Impact of mixed reality application on the learning curve of laparoscopic nephrectomy

Gabdullin A.F.¹, Pogosyan R.R.¹, Dzhaliyov I.B.², Gadzhiev N.K.², Semeniakin I.V.¹

¹ A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 127473, Moscow, Russian Federation

² Pavlov First Saint Petersburg State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 197022, St. Petersburg, Russian Federation

Aim – to evaluate the effectiveness and safety of mixed reality (MR) in surgeon's learning curve for laparoscopic nephrectomy (LNE).

Material and methods. There were 40 prospectively recruited patients that have undergone LNE; in 20 patients, the results of contrast-enhanced multislice computed tomography of the urinary system (MSCT US) were converted to MR models. The MR platform allowed surgeons to rotate and disassemble the anatomy of the kidneys during the preoperative phase, as well as directly during the surgery; patients could also see their anatomical structures while having the surgical procedure explained step-by-step. The Likert scale questionnaire allowed to assess the understanding and usefulness of the MR model in anatomical kidney surgery. The surgeons involved in the study also commented on whether MR affected their learning curve. Surgical outcomes for the MR patient cohort were compared with a prospectively matched cohort of LNE patients without MR.

Results. The mean operative time in the MR group was significantly lower than in the non-MR group (78.5 versus 95.6 min; $p < 0.05$). The differences in the indices of intraoperative blood loss were 58 versus 150 ml ($p = 0.081$). Postoperative complications 5 versus 15% ($p = 0.09$) for the MR group and the non-MR group, respectively. There was no significant difference in the length of hospital stay between the 2 groups (72 ± 4 versus 48 ± 5 hours, $p = 0.01$). The novice surgeon reached a plateau after 20 surgical procedures.

Conclusion. The preoperative review of MR models changed the on-line approach, shortened surgery time, and improved LNE results. The implementation of mixed reality technology in the course of teaching the technique of laparoscopic nephrectomy demonstrated positive results in terms of the speed of reaching the plateau of surgical procedures without any complications. The process of preparing and using a volumetric model of an organ in the course of LNE training did not cause difficulties for specialists, and lead to an acceleration of operation in the technique training without loss of quality.

Funding. The study had no sponsor support.

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

For citation: Gabdullin A.F., Pogosyan R.R., Dzhaliyov I.B., Gadzhiev N.K., Semeniakin I.V. Impact of mixed reality application on the learning curve of laparoscopic nephrectomy. Clinical and Experimental Surgery. Petrovsky Journal. 2021; 9 (4): 124–30. DOI: <https://doi.org/10.33029/2308-1198-2021-9-4-124-130> (in Russian)

Received 07.10.2021. **Accepted** 01.11.2021.

CORRESPONDENCE

Amir F. Gabdullin – Urologist,
Urological Department,
A.I. Yevdokimov Moscow State
University of Medicine and Dentistry
of the Ministry of Healthcare
of the Russian Federation
(Moscow, Russian Federation)
E-mail: Dr.Gabdullin@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9989-7879>

Keywords:

laparoscopic nephrectomy,
learning curve, mixed reality,
HLOIA®, kidney tumour

Для снижения риска интра- и постоперационных осложнений перед операцией хирурги изучают данные компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ), чтобы оценить возможные несоответствия размеров почек, варианты почечных сосудов и другие анатомические особенности почек с точки зрения персонализированного подхода к каждой клинической ситуации. Вызывают беспокойство недавние данные, в отношении опухолей почек, которые демонстрируют заметные недостатки в способности хирургов получить точное представление об анатомии почек после просмотра более 2000 изображений, полу-

ченных при исследовании КТ или МРТ пациента [1]. Эта проблема в отношении эффективной интерпретации анатомии также сохраняется при выполнении лапароскопической нефрэктомии (ЛНЭ).

Пытаясь восполнить этот концептуальный пробел, специалисты применяли 3D-печать с целью улучшения хирургического подхода и повышения осведомленности пациентов перед операциями на почках при чрескожной нефролитотрипсии (ЧНЛТ) и резекции почки (РП) [2, 3]. 3D-печать при изучении анатомии пациента полезна, но она требует много времени, дорога по себестоимости и имеет ограниченную доступность.

Рис. 1.
Предоперационный
разбор анатомической
картины пациента
с использованием MR

Fig. 1. Preoperative
analysis of the patient's
anatomical structures
using MR

Смешанная реальность (MR) позволяет реализовать высококачественную виртуальную 3D-модель анатомии конкретного пациента (например, почку с учетом ее синтопии, собирательной системы, сосудистой сети и т.д.), которая может нивелировать ограничения КТ и 3D-печатных моделей. Хирург имеет возможность просматривать и управлять моделью MR интуитивно понятным образом с помощью закрепленного на голове дисплея. Модели MR расширили понимание хирурга в анатомии почек и часто меняли предоперационный план чрескожного удаления камней, а также резекции почек. Кроме того, модели MR служат ценным образовательным инструментом для пациентов [4, 5].

Основная **цель** нашего исследования состояла в том, чтобы определить, принесет ли применение моделей MR в ЛНЭ преимущества для предоперационного хирургического планирования и обучения хирургов. Кроме того, мы провели проспективный контролируемый анализ, чтобы объективно оценить влияние MR на результаты ЛНЭ.

Материал и методы

Создание модели MR

Полученные в ходе инструментального исследования данные МСКТ МВС были обработаны в компьютерной программе с целью получения полисегментарных моделей. Данные, полученные после обработки, были использованы в разработанном нами программном обеспечении HLOIA® для создания виртуальной персонифицированной объемной модели органа, учитывая все анатомические особенности конкретного пациента. На этапе подготовки к оперативному пособию и в ходе операции начинающий хирург использовал очки виртуальной реальности HoloLens II поколения компании Microsoft (Сиэтл, Вашингтон, США), с реализованной в них системой HLOIA®.

С января 2020 г. по март 2021 г. было выполнено проспективное исследование, в которое включили 40 пациентов, перенесших ЛНЭ по поводу различных заболеваний почек (злокачественных

Рис. 2. Навигация
на почечную ножку путем
наложения объемной
виртуальной модели
на оперативное поле

Fig. 2. Renal pedicle
aiming through the
superimposition of the
virtual volume model onto
the operative field.

Рис. 3. Возможности интраоперационного применения программы HLOIA®

Fig. 3. Possibilities of the intraoperative use of HLOIA® program

и доброкачественных). Данные, полученные в ходе исследования, были проанализированы с целью изучения влияния применения смешанной реальности в ходе оперативного пособия на кривую обучения урологов.

Критерии включения: пациенты с доброкачественными заболеваниями почек (терминальный гидронефроз, сморщенная почка и опухоли почек), не подразумевающими выполнения органосохраняющих оперативных вмешательств.

Критерии исключения: пациенты с множественными сопутствующими заболеваниями (тяжелая сердечно-сосудистая патология, дыхательная недостаточность), пациенты с тяжелой коагулопатией, морбидным ожирением (индекс массы тела ≥ 35 кг/м²), в септическом состоянии, с аневризмами аорты.

Критерии включения и исключения выбраны на основе предполагаемой оценки количества и характера осложнений, полученных в результате оперативного вмешательства, не связанных с коморбидным состоянием. Пациенты были разделены на 2 группы по 20 человек в каждой. Для удобства анализа их обозначили как группа MR (I) и группа без MR (II) соответственно. Всем пациентам выполнена предоперационная МСКТ органов мочевыделительной системы (МВС) с внутривенным болюсным контрастированием, с шагом до 5 мм.

Предоперационная оценка хирурга

Перед ЛНЭ хирург изучал КТ пациента и заполнял анкету, оценивая свое понимание анатомии пациента в отношении удаляемой почки (от 0 – плохо до 10 – отлично). Затем хирург взаимодействовал с MR-моделью анатомии пациента (рис. 1) и заполнял вторую оценочную анкету. Хирург также заполнял анкету по принципу шкал Лайкерта (1 – категорически не согласен, 5 – полностью согласен),

сравнивая эффективность применения MR-модели и исключительно данных КТ в отношении оперативного пособия.

Анкета по принципу шкал Лайкерта

Анкета включала 4 суждения, оцененные по 5-балльной шкале Лайкерта: 1 – категорически не согласен; 2 – не согласен; 3 – неясно; 4 – согласен и 5 – полностью согласен. Заявления приведены ниже:

1. 3D-голографическая модель почки была полезна для экспозиции почечной ножки.
2. 3D-голографическая модель почки была полезна для определения границ и синтопии органа.
3. 3D-голографическая модель почки была полезна в качестве справочного инструмента во время операции.
4. Работа в программном обеспечении HLOIA® с целью интраоперационного применения и анализа 3D-голографической модели удобна и полезна.

Послеоперационная оценка хирурга

После ЛНЭ хирург выполнял послеоперационную оценку соответствия модели MR конкретным анатомическим структурам пациента: например, почечная артерия, почечная вена, гонадная вена, мочеточник и т.д. (от 0 – плохо до 10 – отлично). Хирург также указал, повлияла ли MR-модель на оперативный подход (1 – категорически не согласен, 5 – категорически согласен). Были зарегистрированы время операции, кровопотеря, интраоперационные осложнения и 30-дневные послеоперационные осложнения.

Контрольная группа пациентов

Пациентов, перенесших нефрэктомия без MR с января 2020 г. по март 2021 г., выбирали для начинающего хирурга с целью выполнения операции из лапароскопического доступа. Пациенты также

были сопоставимы по возрасту, полу, баллам Американского общества анестезиологов (ASA) и индексу массы тела (ИМТ). Были зарегистрированы следующие клинические данные: пол, сторона нефрэктомии, время операции, предоперационный уровень креатинина, уровень креатинина в 1-й послеоперационный день (1 ПОД), предоперационный уровень гемоглобина, уровень гемоглобина в 1 ПОД, продолжительность пребывания в стационаре, предполагаемая кровопотеря (ПК), интраоперационные осложнения и 30-дневные послеоперационные осложнения (классификация Clavien–Dindo) [6].

Статистический анализ

Данные были сведены в таблицу с использованием программного обеспечения SPSS версии 21 (SPSS Inc., Чикаго, Иллинойс, США). Описательная статистика представлена в процентах, частотах и средних значениях. Различия между обеими группами сравнивали с помощью точного критерия Фишера для категориальных переменных и *t*-критерия Стьюдента или *U*-критерия Манна–Уитни для сравнения нормально и ненормально распределенных непрерывных переменных соответственно. Значение $p < 0,05$ считалось значимым.

Результаты

Описательный анализ

С января 2020 г. по март 2021 г. было выполнено 20 ЛНЭ с применением MR; средний возраст пациентов составил 42 года, средний балл по шкале ASA – 1,5; средний ИМТ – 26,2 кг/м². Среднее время операции составляло 78,5 мин, а ПК – 58 мл. В 13 случаях ЛНЭ выполнялась с левой стороны, а в 2 – справа.

Медиана предоперационного уровня креатинина и уровня креатинина 1 ПОД, определяемая как уровень креатинина утром 1-го послеоперационного дня, составляла 90 и 120 мкмоль/л соответственно. Средний уровень гемоглобина до операции и уровень гемоглобина 1 ПОД, определяемый как гемоглобин утром 1-го послеоперационного дня, составлял 147 и 127 г/л соответственно. Интраоперационных и ранних послеоперационных осложнений не было. Было зарегистрировано 1 послеоперационное осложнение в течение 30 дней (Clavien–Dindo I).

Предоперационная оценка хирургов

Что касается предоперационной визуализации, хирург сообщил, что КТ обеспечила адекватное понимание анатомии артериальной (7/10), венозной (7/10) и собирательной системы (7/10). После просмотра MR-модели хирург сообщил об улучше-

нии среднего понимания анатомии артериальной (10/10), венозной (10/10) и собирательной системы (10/10) (все $p < 0,001$ соответственно). Общая уверенность хирурга в понимании анатомии пациента увеличилась после использования MR со среднего значения 4/5 до 5/5 ($p < 0,001$).

Послеоперационная оценка хирурга

Хирургом было отмечено, что MR-модель лучше коррелировала с артериальной анатомией пациентов, чем КТ (10/10 против 8,5/10; $p = 0,002$). Это верно и для анатомии вен (10/10 против 7,5/10; $p = 0,003$) и анатомии мочеточника (10/10 против 8,5/10; $p = 0,003$).

Хирург полностью согласился с тем, что модель MR улучшает навигацию по анатомии пациентов (5/5).

Анализ сопоставимых результатов

Выявлена проспективная когорта из 20 пациентов (II группа), перенесших ЛНЭ без MR с января 2020 г. по март 2021 г. Пациенты были выбраны по аналогии 20 пациентов (I группа) с применением MR на основе вышеупомянутых критериев. Средний возраст составил 39,2±16,5 года, а средний ИМТ – 28,5±4,2 кг/м². По сравнению с группой без MR в группе MR среднее время операции сократилось на 18% (78,5 против 95,6 мин; $p < 0,001$). Среднее время операции сократилось на 17,1 мин в группе I. Хирург достиг плато во время операции после 20 случаев. Интраоперационная кровопотеря снизилась со 150 мл в группе II до 58 мл в группе I. Однако эта разница не была статистически значимой ($p = 0,081$). Наблюдалась статистическая разница в абсолютном среднем значении предоперационного уровня креатинина между группами без MR и с MR (80 против 90 мкмоль/л, $p = 0,002$), но не было разницы в уровне креатинина 1 ПОД между группами. Кроме того, наблюдалась статистическая разница в среднем уровне гемоглобина до операции и 1 ПОД между группами без MR и с MR ($p = 0,038$ и $p = 0,040$ соответственно). Продолжительность пребывания в стационаре между двумя когортами была эквивалентной (72±4 против 48±5 ч; $p = 0,01$). Анализ послеоперационных осложнений показал, что между обеими группами не было существенной разницы [15% в группе без MR (II) против 5% в группе MR (I); $p = 0,09$]. В группе без MR у 2 (10%) пациентов было раннее послеоперационное осложнение (<30 дней), у одного из них наблюдалась несостоятельность кожной раны (заживление вторичным натяжением в результате рутинных перевязок послеоперационной раны), а у другого развилась лихорадка в 1-й ПОД после перенесенной ЛНЭ слева по поводу терминального гидронефроза (лихорадка купирована консервативной терапией). У 1 (5%) пациента из группы без MR развилась тро-

акарная грыжа в области порта (>30 дней), которую удалось устранить хирургическим пособием в объеме герниопластики.

Обсуждение

В отличие от 3D-печати, MR-анатомия почек пациента – более доступный и экономически менее затратный вариант реализации объемной модели анатомии пациента. Используя головной дисплей и портативное устройство, хирург может просматривать и управлять моделью MR интуитивно понятным образом, обеспечивая при этом более качественное взаимодействие. Более ранние исследования с использованием этого подхода подтвердили улучшение периоперационных результатов при чрескожном удалении камней в почках и резекциях при опухолях почек [4, 5]. Кроме того, в обоих исследованиях понимание пациентами запланированной процедуры и степень их комфорта улучшились после просмотра MR-модели их почек.

В данном исследовании мы сосредоточились на потенциальном влиянии MR на кривую обучения при выполнении ЛНЭ. Мы обнаружили, что аналогично нашим результатам урологи в ходе чрескожного удаления камней и резекции почки меняли свою оперативную стратегию в 90% случаев после просмотра MR-модели. Многие из этих изменений в подходе были связаны с тем, что MR проясняла сосудистую анатомию пациентов. Например, модели MR объясняли локализацию зон ветвления почечных артерий и вен по отношению к почке, взаимосвязь почки с окружающими органами и расположение поясничных вен. После просмотра MR-модели хирург также почувствовал себя более уверенно в отношении периренальной и почечной анатомии и, следовательно, спрогнозировал менее сложный хирургический курс. Кроме того, послеоперационная оценка MR-моделей начинающим хирургом показала, что эти модели продемонстрировали высокую точность в представлении фактической анатомии артерий, вен, почки и мочеточника, наблюдаемой во время операции.

Примечательно, что данные КТ, используемые для создания моделей MR, включали трехмерную визуализацию вращения почек и сосудистой сети брюшной полости, полученные на отсроченных фазах КТ. Эти 3D-изображения можно вращать по горизонтали, однако их нельзя реконструировать и манипулировать ими как моделями MR. Хирург имел доступ к этим 3D-изображениям перед опе-

рацией и мог просматривать их вместе с традиционной КТ. Но, тем не менее, хирург по-прежнему отмечает повышение уверенности и понимания анатомии пациента после просмотра почечных MR-моделей.

Было отмечено значительное сокращение времени операции, когда 20 случаев MR были сопоставлены с проспективной группой из 20 случаев без MR при ЛНЭ. Проверка предоперационной MR может повысить эффективность работы хирурга в операционной без ущерба для результатов лечения пациентов. Мы обнаружили, что пациенты также получали пользу от просмотра MR. Пациенты отметили повышенное понимание собственной анатомии и зарегистрировали снижение предоперационной тревожности.

Безусловно, ручное создание и сегментация моделей MR требовало дополнительного времени и обучения. В будущем сотрудничество с лабораториями искусственного интеллекта может ускорить этот процесс, а также помочь интегрировать просмотр MR в повседневную предоперационную практику.

Данное исследование имеет несколько ограничений. В дополнение к относительно небольшому размеру выборки, когорту MR сравнивали с проспективно подобранной когортой без MR, что помогло лучше проверить эту технологию. Кроме того, все модели MR были созданы на основе КТ и, следовательно, ограничены качеством этих сканирований. Качество моделей MR зависело от создателя модели и его опыта просмотра и интерпретации КТ. Наконец, хирурги становятся более опытными в профессиональных навыках по мере увеличения их опыта, что, безусловно, противоречит результатам проспективной согласованной контрольной когорты в отношении времени операции.

Заключение

В условиях ЛНЭ предоперационный просмотр интерактивных моделей виртуальной реальности почки, полученных с помощью КТ, может повысить уверенность хирурга и улучшить понимание анатомии почек, изменить оперативный подход и сократить время операции. В качестве инструмента обучения пациентов просмотр моделей MR может улучшить понимание пациентами запланированной процедуры и одновременно снизить их предоперационную тревогу. Ее применение приводит к ускорению процесса обучения молодого специалиста.

Литература/References

1. Wake N., Wysock J.S., Bjurlin M.A., et al. Pin the tumor on the kidney: an evaluation of how surgeons

translate CT and MRI data to 3D models. *Urology*. 2019; 131: 255–61.

2. Bernhard J.C., Isotani S., Matsugasumi T., et al. Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: a useful tool for patient education. *World J Urol.* 2016; 34: 337–45.
3. Silberstein J.L., Maddox M.M., Dorsey P., et al. Physical models of renal malignancies using standard cross-sectional imaging and 3-dimensional printers: a pilot study. *Urology.* 2014; 84: 268–72.
4. Parkhomenko E., O'Leary M., Safiullah S., et al. Pilot assessment of immersive virtual-reality renal models as an educational and preoperative planning tool for percutaneous nephrolithotomy. *J Endourol.* 2019; 33: 283–8.
5. Parkhomenko E., Safiullah S., Owyong M., et al. MP26-06 Initial experience with renal virtual reality models as educational and preoperative planning tools for partial nephrectomy. *J Urol.* 2018; 199: e337–8.
6. Dindo D., Demartines N., Clavien P.A. Classification of surgical complications: a new proposal with evaluation in a cohort of 6336 patients and results of a survey. *Ann Surg.* 2004; 240: 205–13.