



Трехлетний опыт применения технологии интраоперационной дополненной реальности в высокотехнологичной лапароскопической хирургии*

Демин Д.Б.

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет», (460000, г. Оренбург, ул. Советская, 6, Россия)

ГАЗ «Оренбургская областная клиническая больница имени В.И. Войнова», (460018, г. Оренбург, ул. Аксакова, 23, Россия)

Для цитирования: Демин Д.Б. Трехлетний опыт применения технологии интраоперационной дополненной реальности в высокотехнологичной лапароскопической хирургии. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2025;(5): 5–9 doi: 10.31146/1682-8658-ecg-237-5-5-9

✉ Для переписки:

Демин Дмитрий
Борисович

demindb@yandex.ru

Демин Дмитрий Борисович, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой факультетской хирургии; заместитель главного врача по хирургической работе; главный внештатный хирург Оренбургской области, руководитель Оренбургского регионального отделения Российского общества хирургов, заслуженный врач РФ

Резюме

* Иллюстрации
к статье –
на цветной
вклейке в журнал
(стр. I–II).

Внедрение технологии дополненной реальности (augmented reality, AR) в хирургии позволяет создать эффект «прозрачной» хирургической анатомии и облегчить интраоперационную визуализацию скрытых в толще тканей анатомических структур в зоне оперативного действия.

Цель исследования: оценить опыт внедрения технологии дополненной реальности при выполнении высокотехнологичных лапароскопических вмешательств.

Материал и методы. С применением интраоперационной AR-технологии нами выполнены 48 высокотехнологичных лапароскопических вмешательств: 16 адреналэктомий (7 правосторонних и 9 левосторонних), 16 резекций печени, 10 клипирований селезеночной артерии при ее аневризме, 2 резекции поджелудочной железы, 4 иссечения кист селезенки.

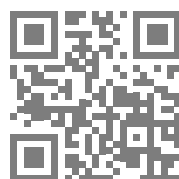
Результаты. Виртуальные трехмерные модели зоны оперативного действия, созданные на основе компьютерной томографии, были эффективно применены при выполнении всех оперативных вмешательств. Загруженная в очки дополненной реальности 3D-модель интраоперационно позиционировалась на монитор лапароскопической видеосистемы, что позволило во всех случаях идентифицировать необходимые анатомические структуры и выполнить вмешательства в штатном режиме.

Заключение. Технология дополненной реальности является эффективным методом интраоперационной навигации при лапароскопических вмешательствах, особенно высокотехнологичных, когда необходима четкая ориентация в сложных анатомических зонах.

Ключевые слова: лапароскопическая хирургия, предоперационное 3D-моделирование, интраоперационная дополненная реальность.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

EDN: GYDGIS



<https://doi.org/10.31146/1682-8658-ecg-237-5-5-9>

Three years of experience in using intraoperative augmented reality technology in high-tech laparoscopic surgery*

D.B. Demin

Orenburg State Medical University, (6, Sovetskaya St., Orenburg, 460000, Russia)

Orenburg Regional Clinical Hospital named after V.I. Voynov, (23, Aksakova St., Orenburg, 460018, Russia)

For citation: Demin D.B. Three years of experience in using intraoperative augmented reality technology in high-tech laparoscopic surgery. *Experimental and Clinical Gastroenterology*. 2025;(5): 5–9. (In Russ.) doi: 10.31146/1682-8658-ecg-237-5-5-9

✉ **Corresponding author:**

Dmitry B. Demin

deminb@yandex.ru

Dmitry B. Demin, MD, Professor, Head of the Department of Faculty Surgery; Deputy Chief Physician for Surgical Work; Chief Surgeon of the Orenburg Region, Head of the Orenburg Regional Branch of the Russian Society of Surgeons, Honored Doctor of the Russian Federation; ORCID: 0000-0002-9172-3081, Researcher ID: A-5622-2017; Scopus Author ID: 36779716800; SPIN: 3461-9642

Summary

* Illustrations to the article are on the colored inset of the Journal (p. I–II).

The introduction of augmented reality (AR) technology in surgery makes it possible to create the effect of “transparent” surgical anatomy and facilitate intraoperative visualization of anatomical structures hidden in the tissue thickness in the surgical area. The purpose of the study is to evaluate the experience of implementing augmented reality technology in performing high-tech laparoscopic interventions.

Materials and methods. Using intraoperative AR technology, we performed 48 high-tech laparoscopic interventions: 16 adrenalectomies (7 right-sided and 9 left-sided), 16 liver resections, 10 clipping of the splenic artery with its aneurysm, 2 resections of the pancreas, 4 excision of spleen cysts.

Results. Virtual 3D-models of the operational area, created on the basis of computed tomography, were effectively used in performing all surgical interventions. The 3D-model loaded into augmented reality glasses was intraoperatively positioned on the monitor of the laparoscopic video system, which made it possible in all cases to identify the necessary anatomical structures and perform interventions in the normal mode.

Conclusion. Augmented reality technology is an effective method of intraoperative navigation during laparoscopic interventions, especially high-tech ones, when a clear orientation in complex anatomical areas is required.

Keywords: laparoscopic surgery, preoperative 3D-modeling, intraoperative AR- technology.

Conflict of interests. The author declare no conflict of interest.

Введение

Цифровая трансформация является одним из ключевых векторов развития отечественного здравоохранения. В хирургии это направление является, без преувеличения, революционным и наиболее активно развивающимся. Интегрированные операционные, объединенные в одну цифровую экосистему, роботическая хирургия, технологии дополненной (смешанной) реальности являются сегодняшним днем работы хирургов и объединяются термином «компьютер-ассистированная хирургия».

Внедрение технологии дополненной реальности (augmented reality, AR) в хирургию является одним из перспективных и востребованных направлений концепций цифровой операционной и безопасной хирургии, объединяя в себе систему интраоперационной навигации и персонализированного

виртуального анатомического атласа зоны оперативного действия. AR-технология можно образно охарактеризовать как «взгляд сквозь» стену, и ее внедрение в хирургию позволяет создать эффект «прозрачной» хирургической анатомии с возможностью интраоперационной визуализации скрытых в толще тканей оперируемого органа анатомических структур (кровеносные сосуды и т.д.). Благодаря этому эффекту хирург получает возможность интраоперационной визуализации посредством загруженной в его AR-гарнитуру (головной дисплей дополненной реальности, позволяющий визуализировать 3D-голографическую модель) информации о зоне операционного действия. Это делает возможным, не отвлекаясь от операционного поля, видеть во время вмешательства

в виртуальном режиме предварительно созданную на основе предоперационной мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) 3D-модель зоны оперативного действия, наложенную на реальное операционное поле. Данная модель отражает особенности анатомии зоны оперативного действия у конкретного пациента, то есть является персонифицированной, что немаловажно, учитывая многообразие особенностей вариантной анатомии человека.

Научный интерес к тематике AR-технологии в хирургии в течение предыдущих пяти лет показывает экспоненциальный рост. В библиотеке PubMed по поисковым словам «Augmented reality surgery» отмечена динамика: 2017 г. – 96 статей, 2018 г. – 145, 2019 г. – 201, 2020 г. – 284, 2021 г. – 365, 2022 г. – 392, в 2023 году – 477, а в 2024 году – 570. В большинстве публикаций описано применение дополненной реальности в ортопедии, нейрохирургии и челюстно-лицевой хирургии.

В абдоминальной хирургии в единичных статьях описан первый опыт внедрения AR-технологии в гепатопанкреатобилиарной хирургии [1, 2, 3] с применением современного программного обеспечения и технических средств (гарнитура дополненной реальности «HoloLens 2»). Имеется единственная публикация по применению AR при лапароскопической адреналэктомии у одного

пациента, представленная J. Marescaux с соавторами в 2004 году [4]. 3D-модель авторы создавали на основании МСКТ, используя программное обеспечение трехмерной виртуальной реконструкции (3D Virtual Surgical Planning) собственной разработки. Интеграцию интраоперационной картины и виртуальной 3D-модели в режиме реального времени осуществляли путем сложных технических решений с комбинацией видеокамер и видеомикшера, обслуживаемого видеоинженером в отдельном помещении.

Следует отметить, что в России приоритет выполнения лапароскопических вмешательств с применением AR принадлежит урологам [5, 6] при выполнении лапароскопической резекции почки. В абдоминальной хирургии первый опыт применения данной технологии представила в 2022 году клиника Московского государственного медико-стоматологического университета имени А.И. Евдокимова [7, 8]. Нами первая операция с применением AR (лапароскопическая резекция печени) выполнена 1 февраля 2022 года, а через 3 недели мы выполнили первую в РФ лапароскопическую адреналэктомию с применением AR.

Цель исследования: оценить опыт применения технологии интраоперационной дополненной реальности в высокотехнологичной лапароскопической хирургии.

Материалы и методы исследования

С 2022 г. по 2025 г. в хирургическом отделении ГАУЗ «ООКБ имени В.И. Войнова» с применением интраоперационной AR-технологии нами выполнены 48 высокотехнологичных лапароскопических вмешательств: 16 адреналэктомий (7 правосторонних и 9 левосторонних), 16 резекций печени, 10 клипирований селезеночной артерии при ее аневризме, 2 резекции поджелудочной железы, 4 иссечения кист селезенки.

Все пациенты оперированы в плановом порядке после обследования, включавшего МСКТ с контрастным усилением.

Планирование с сегментацией анатомических структур и созданием их трехмерных моделей в виде STL-файлов на основании предоперационной МСКТ осуществлено с помощью программы «Инобитек DICOM-Просмотрщик PRO» (РФ). Конструирование голографической трехмерной модели органа комплекса области вмешательства осуществлено в программе 3D-моделирования «Blender» (свободно распространяемый 3D-редактор с открытым исходным кодом). Интраоперационная AR-визуализация проведена в программе «IF 3D Viewer»

(свободно распространяемый 3D-просмотрщик голографических моделей). В качестве гарнитуры 3D-виртуальной визуализации использованы очки дополненной реальности «HoloLens 2» (Microsoft) с установленным в них программным обеспечением трехмерной виртуальной визуализации.

Лапароскопические вмешательства выполнены в операционной, оснащенной видеосистемой экспертного уровня, современными энергетическими комплексами ультразвуковой диссекции и биполярной коагуляции, системой интраоперационной визуализации DICOM-изображений. В процессе операций оценена точность интраоперационной интеграции (встраивания) в зону оперативного действия виртуальных 3D-моделей посредством технологии дополненной реальности. Эффективность AR-навигации по предлагаемой методике оценена по визуальной точности интеграции трехмерной модели в зону оперативного действия и частоте неблагоприятных интраоперационных событий.

Все этапы 3D-моделирования и оперативные вмешательства выполнены лично автором.

Результаты и обсуждение

Технология интраоперационной дополненной реальности применена нами при выполнении 16 лапароскопических резекций печени. Предварительная подготовка к вмешательствам у всех пациентов состояла из ряда последовательных этапов. Сначала в ручном режиме выполняли сегментацию печени

с зоной патологии и ее трубчатых структур (артериальная, портальная, кавальная и билиарная системы) на основе предоперационной МСКТ в программе «Инобитек DICOM-Просмотрщик PRO». Затем из полученных сегментированных структур в программе 3D-моделирования конструировали

виртуальную 3D-модель печени с подробной сосудистой архитектурой и объемным образованием. Конструирование включало в себя 2 этапа. Сначала создавали модель патологического образования печени с окружающими его сосудистыми структурами для 3D-визуализации их взаимоотношений (рис. 1).

Следующим этапом с целью «привязки к местности» в 3D-модель добавляли саму печень (рис. 2) и делали ее «прозрачной» (рис. 3) для визуализации интрапаренхиматозно расположенных трубчатых структур.

Полученную модель сохраняли в облачном хранилище программы 3D-просмотрщика голографических моделей, после чего точно созданную голографическую трехмерную реконструкцию зоны оперативного действия визуализировали в гарнитуре дополненной реальности.

В процессе оперативного вмешательства применяли очки дополненной реальности «Microsoft HoloLens 2». Последовательность операции и оперативная техника были стандартными. В процессе операции 3D-модель зоны оперативного действия, визуализируемая хирургом при помощи вышеуказанного устройства, во всех случаях точно совмещалась с интраоперационной картиной в мониторе эндовидеохирургического комплекса (рис. 4).

Это позиционирование приводило к созданию эффекта «прозрачной» хирургической анатомии в зоне вмешательства с идентификацией сосудистой архитектуры в толще паренхимы печени и позволяло осуществить оперативное вмешательство без интраоперационных осложнений. Посредством видеокамеры, интегрированной в AR-гарнитуру, выполняли видеозапись хода операции с визуализацией реального операционного поля и наложенной на него виртуальной трехмерной модели. Длительность выполнения операций увеличилась в среднем на 10 минут за счет включения AR-гарнитуры и позиционирования 3D-модели на операционное поле в мониторе эндовидеохирургического комплекса.

Все 16 хирургических вмешательств выполнены штатно в соответствии с планом операции, у всех

пациентов послеоперационный период без осложнений, выписка на 6–8 сутки.

Технология интраоперационной дополненной реальности в лапароскопической хирургии надпочечников применена нами при выполнении 16 адреналэктомий. Процесс предоперационного планирования лапароскопических адреналэктомий был идентичен. Выполняли сегментацию в ручном режиме необходимых органов и сосудистых структур на основе предоперационной МСКТ. Далее из полученных сегментированных структур конструировали виртуальную 3D-модель. Сначала создавали модель надпочечника с окружающими его сосудистыми структурами для трехмерной визуализации их синтопии (рис. 5).

Следующим этапом с целью «привязки к местности» добавляли органы, расположенные в зоне оперативного действия (рис. 6). Таким образом, кроме надпочечника в 3D-модель зоны вмешательства входили следующие структуры: справа – печень, нижняя полая вена, аорта, правая почка с сосудами, слева – селезенка с сосудами, поджелудочная железа, нижняя полая вена, аорта, почка с сосудами.

В ходе вмешательства голографическая модель накладывалась на интраоперационную картину в мониторе лапароскопической видеосистемы (рис. 7) с созданием эффекта «прозрачности» хирургической анатомии и идентификацией сосудистой архитектуры зоны вмешательства.

Все 3D-модели были идентичны визуализируемой интраоперационно зоне оперативного действия. Проводилась запись операции посредством AR-гарнитуры. Все вмешательства выполнены штатно. Послеоперационный период у всех пациентов без осложнений, выписка на 4–6 сутки.

Методика применения интраоперационной AR-технологии при остальных лапароскопических вмешательствах (клипирования селезеночной артерии при ее аневризме, резекции поджелудочной железы, иссечения кист селезенки) была аналогичной вышеуказанной. Во всех случаях достигалась необходимая интеграция 3D-моделей в зону оперативного действия, оперативные вмешательства проведены штатно.

Обсуждение

Общеизвестно, что предоперационное планирование предстоящих высокотехнологичных оперативных вмешательств является важнейшим компонентом хирургической безопасности. Следует отметить, что 3D-моделирование зоны оперативного действия на основании МСКТ является самостоятельным эффективным компонентом предоперационного планирования вмешательств в сложных анатомических зонах и позволяет на дооперационном этапе пространственно увидеть эту зону со всеми ее анатомическими особенностями у конкретного пациента.

Возможности дополненной реальности в хирургии не ограничиваются только интраоперационной визуализацией трехмерной модели и «встраиванием» ее в зону оперативного вмешательства. По сути, AR-технология – это цифровая

виртуальная операционная, включающая в себя возможности архивирования данных (предоперационная КТ, фото- и видеозапись операции) и позволяющая интраоперационно просматривать DICOM-изображения.

Немаловажно, что интраоперационная визуализация анатомических структур, скрытых в толще тканей зоны операции, является фактором, повышающим безопасность оперативного вмешательства.

Кроме того, передача видеопотока из AR-гарнитуры – возможность удаленно видеть операцию глазами хирурга. Это открывает дальнейшие перспективы: обучение студентов и начинающих хирургов, в том числе дистанционное; телемедицинские консультации в онлайн-режиме с экспертным центром; доступная для регионов сложная

хирургия. В дальнейшем – интеграция с нейросетевыми программами с конструированием программного обеспечения для робото-хирургических комплексов. Перспективы AR являются неограниченными, а возможный масштаб развития технологии дополненной реальности в хирургической практике мы еще не представляем в полной мере.

Технология интраоперационной AR-навигации быстро развивается в различных областях хирургии,

особенно там, где вмешательства осуществляются в сложных анатомических зонах. Идет набор информации для оценки роли AR-технологии в оперативной хирургии. В ближайшее время данная методика будет стандартизирована, а технология создания 3D-моделей и AR будет включена в программное обеспечение эндовидеохирургических систем и станет неотъемлемым компонентом интегрированных операционных.

Заключение

Технология дополненной реальности является эффективным методом интраоперационной навигации при лапароскопических вмешательствах,

особенно высокотехнологичных, когда необходима четкая ориентация в сложных анатомических зонах.

Литература | References

1. Lang H., Huber T. Virtual and Augmented Reality in Liver Surgery. *Ann Surg.* 2020;271 (1): 8. doi: 10.1097/SLA.0000000000003601.
2. Okamoto T., Onda S., Yasuda J. et al. Navigation surgery using an augmented reality for pancreatectomy. *Dig. Surg.* 2015;32: 117–123. doi: 10.1159/000371860.
3. Onda S., Okamoto T., Kanehira M. et al. Short rigid scope and stereoscope designed specifically for open abdominal navigation surgery: clinical application for hepatobiliary and pancreatic surgery. *J. Hepatobiliary Pancreat. Sci.* 2013;20 (4): 448–453. doi: 10.1007/s00534-012-0582-y.
4. Marescaux J., Rubino F., Arenas M. et al. Augmented-Reality-assisted laparoscopic adrenalectomy. *JAMA.* 2004;292(18): 2211–2215. doi: 10.1001/jama.292.18.2214-c.
5. Gadzhiev N.K., Poghosyan R.R., Ostanin M.A. et al. Laparoscopic kidney resection using augmented reality technology: a new vector of development of operative urology? *Urology.* 2020;5: 37–40. (In Russ.) doi: 10.18565/urology.2020.5.37–40.
Гаджиев Н.К., Погосян Р.Р., Останин М.А. и соавт. Лапароскопическая резекция почки с использованием технологии дополненной реальности: новый вектор развития оперативной урологии? *Урология.* 2020;5: 37–40. doi: 10.18565/urology.2020.5.37–40.
6. Semenyakin I.V., Gadzhiev N.K., Gabdullin A.F. et al. The use of mixed reality in laparoscopic kidney resection. *Moscow Surgical Journal.* 2021;4: 47–57. (In Russ.) doi: 10.17238/2072-3180-2021-4-47-57.
Семенякин И.В., Гаджиев Н.К., Габдуллин А.Ф. и соавт. Применение смешанной реальности при лапароскопической резекции почки. *Московский хирургический журнал.* 2021;4: 47–57. doi: 10.17238/2072-3180-2021-4-47-57.
7. Panchenkov D.N., Abdulkirimov Z.A., Semenyakin I.V. et al. Augmented reality technology in laparoscopic hepatopancreatobiliary surgery. *Clinical hospital.* 2022;2 (34):79–83. (In Russ.) doi: 10.56547/22263071_2022_2_79.
Панченков Д.Н., Абдулкеримов З.А., Семенякин И.В. и соавт. Технология дополненной реальности в лапароскопической гепатопанкреатобилиарной хирургии. *Клиническая больница.* 2022;2 (34):79–83. doi: 10.56547/22263071_2022_2_79.
8. Panchenkov D.N., Abdulkirimov Z.A., Semenyakin I.V. et al. The first experience of using augmented reality technology in laparoscopic operations on the liver and pancreas. *Annals of surgical hepatology.* 2023; 28 (1): 62–70. (In Russ.) doi: 10.16931/1995-5464.2023-1-62-70.
Панченков Д.Н., Абдулкеримов З.А., Семенякин И.В. и соавт. Первый опыт применения технологии дополненной реальности при лапароскопических операциях на печени и поджелудочной железе. *Анналы хирургической гепатологии.* 2023; 28 (1): 62–70. doi: 10.16931/1995-5464.2023-1-62-70.

К статье

Трехлетний опыт применения технологии интраоперационной дополненной реальности в высокотехнологичной лапароскопической хирургии (стр. 5–9)

To article

Three years of experience in using intraoperative augmented reality technology in high-tech laparoscopic surgery (p. 5–9)

Рисунок 1.

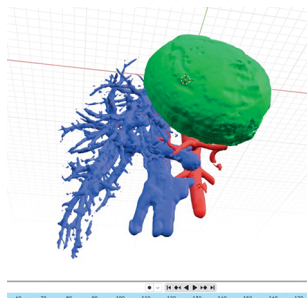
Figure 1.

Рисунок 2.

Figure 2.

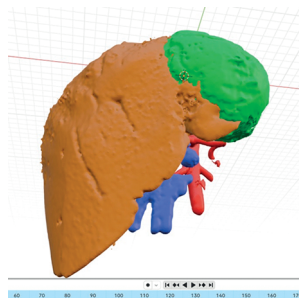
Рисунок 3.

Figure 3.



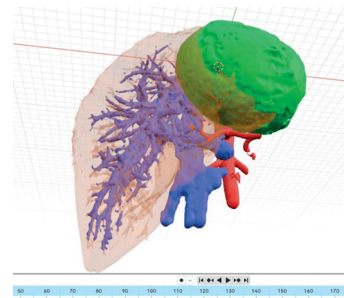
3D-модель объемного образования S II–III печени с сосудистыми структурами

3D model of the volumetric formation of the S II–III liver with vascular structures



3D-модель объемного образования S II–III печени с сосудистыми структурами и паренхимой печени

3D model of the volumetric formation of the S II–III liver with vascular structures and liver parenchyma



3D-модель объемного образования S II–III печени с сосудистыми структурами и «прозрачной» паренхимой печени

3D model of the volumetric formation of the S II–III liver with vascular structures and “transparent” liver parenchyma

Рисунок 4.

Figure 4.

Интраоперационная картина (3D-модель наложена на монитор лапароскопической видеосистемы)

Intraoperative picture (3D model superimposed on the monitor of a laparoscopic video system)

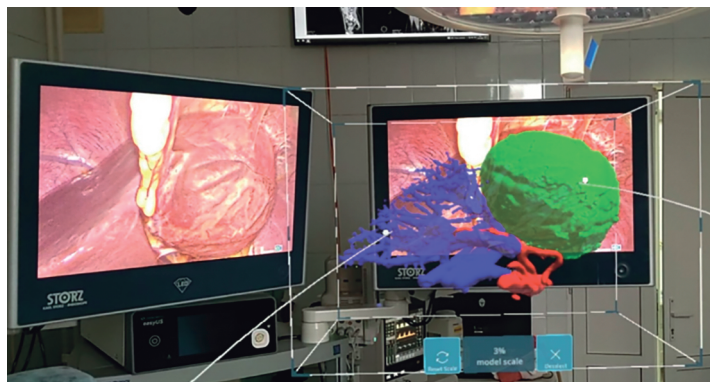
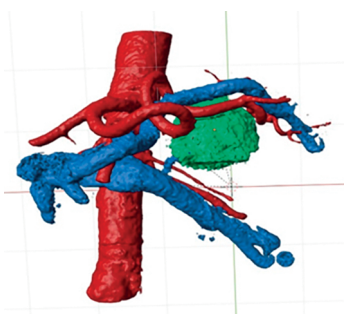


Рисунок 5.

Figure 5.

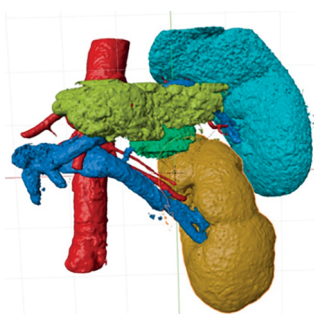
Рисунок 6.

Figure 6.



3D-модель объемного образования левого надпочечника с окружающими сосудистыми структурами

3D model of the volumetric formation of the left adrenal gland with surrounding vascular structures



3D-модель объемного образования левого надпочечника с окружающими сосудистыми структурами и рядом расположенными органами

3D model of the volumetric formation of the left adrenal gland with surrounding vascular structures and nearby organs

Рисунок 7. Интраоперационная картина (3D-модель наложена на монитор лапароскопической видеосистемы)

Figure 7. Intraoperative picture (3D model superimposed on the monitor of a laparoscopic video system)

