

Новые технологии в гепатопанкреатобилиарной хирургии New technologies in HPB surgery

ISSN 1995-5464 (Print); ISSN 2408-9524 (Online)

<https://doi.org/10.16931/1995-5464.2023-1-62-70>

Первый опыт применения технологии дополненной реальности при лапароскопических операциях на печени и поджелудочной железе

Панченков Д.Н., Абдулкеримов З.А., Семенякин И.В., Габдуллин А.Ф., Григорьева Е.В., Климов Д.Д., Прохоренко Л.С., Грицаенко А.И., Лискевич Р.В., Тупикин К.А. *

ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России; 127473, Москва, ул. Десятская, д. 20, стр. 1, Российская Федерация

Цель. Описание опыта применения системы смешанной реальности при операциях на органах брюшной полости в условиях одного центра.

Материал и методы. В 2021–2022 гг. с применением технологии дополненной реальности лапароскопически оперировано 5 пациентов. Выполнили эхинококкэктомии с резекцией IV, V, VI сегментов печени, панкреатодуоденальную резекцию по поводу рака головки поджелудочной железы, иссечение кисты брыжейки тонкой кишки, резекцию тела и хвоста поджелудочной железы по поводу нейроэндокринной опухоли.

Результаты. При использовании 3D-моделей требовалось некоторое время для надевания очков, масштабирования модели и ее наложения на экранное изображение, что иногда увеличивало время операции до 25 мин. В ряде операций применение дополненной реальности облегчило хирургу ориентировку при работе около сосудистых структур. После просмотра AR-модели хирург чувствовал себя более уверенно с точки зрения индивидуальной анатомии.

Заключение. Дополненная реальность может стать надежным и перспективным инструментом в абдоминальной хирургии. Тем не менее необходимо дальнейшее технологическое совершенствование систем дополненной реальности для увеличения их производительности.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность, абдоминальная хирургия, 3D-модель

Ссылка для цитирования: Панченков Д.Н., Абдулкеримов З.А., Семенякин И.В., Габдуллин А.Ф., Григорьева Е.В., Климов Д.Д., Прохоренко Л.С., Грицаенко А.И., Лискевич Р.В., Тупикин К.А. Первый опыт применения технологии дополненной реальности при лапароскопических операциях на печени и поджелудочной железе. *Анналы хирургической гепатологии*. 2023; 28 (1): 62–70. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2023-1-62-70>.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Исследование выполнено при поддержке Министерства здравоохранения Российской Федерации в рамках государственного контракта № 056-00035-21-00 от 17 декабря 2020 г.

First experience of using augmented reality technology in liver and pancreas laparoscopy

Panchenkov D.N., Abdulkarimov Z.A., Semeniakin I.V., Gabdullin A.F., Grigorieva E.V., Klimov D.D., Prokhorenko L.S., Gritsaenko A.I., Liskevich R.V., Tupikin K.A. *

A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 20/1, Delegatskaya str., Moscow, 127473, Russian Federation

Aim. To describe the experience of using augmented reality system in abdominal surgery at one clinical center.

Materials and methods. In 2021–2022, five patients underwent laparoscopy with augmented reality technology. The interventions included echinococcectomy with resection of IV, V, VI liver segments, pancreaticoduodenal resection for pancreatic head cancer, excision of mesostenium cyst, resection of pancreas body and tail for neuroendocrine tumor.

Results. Application of 3D models requires putting on glasses, scaling and setting a model on the screen image, which sometimes prolonged surgery time to 25 minutes. In a number of operations the use of augmented reality navigated the surgeon when working near vascular structures. After looking through the AR model, a surgeon felt more confident in terms of individual anatomy.

Conclusion. Augmented reality can become a reliable and promising tool in abdominal surgery. However, further technological development in augmented reality systems is needed to increase their performance.

Keywords: *virtual reality, augmented reality, mixed reality, abdominal surgery, 3D model*

For citation: Panchenkov D.N., Abdulkherimov Z.A., Semeniakin I.V., Gabdullin A.F., Grigorieva E.V., Klimov D.D., Prokhorenko L.S., Gritsaenko A.I., Liskevich R.V., Tupikin K.A. First experience of using augmented reality technology in liver and pancreas laparoscopy. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB surgery*. 2023; 28 (1): 62–70. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2023-1-62-70> (In Russian)

The authors declare no conflict of interest.

The study was carried out with the support of the Ministry of Health of the Russian Federation under the Government Contract No. 056-00035-21-00 of December 17, 2020.

● Введение

В настоящее время в медицине в целом и в хирургии в частности наметилась тенденция к широкому внедрению в практику современных прогрессивных технологий, что, в свою очередь, ведет к расширению возможностей лечения пациентов. Следует отметить, что немалую роль в увеличении безопасности хирургического вмешательства играет четкое планирование предстоящей операции. Вместе с тем не только до операции, но и во время ее выполнения хирургу важно иметь четкое представление о характере патологического процесса и синтопии анатомических структур у пациента. Во многом этому помогает изучение результатов таких методов, как КТ и МРТ на этапе планирования операции. Тем не менее даже опытные, подготовленные хирурги зачастую сталкиваются с проблемами построения объемного предмета в своем воображении при анализе двухмерных изображений КТ и МРТ [1]. Для преодоления потенциальных ошибок при планировании операции можно прибегнуть к различным способам, одним из которых является 3D-печать. Этот способ применим не только для улучшения хирургического подхода, но и для ознакомления пациентов с планом предстоящего лечения. Однако он требует больших затрат времени, дорог и имеет ограниченную доступность [2, 3]. Поэтому актуальным представляется применение новых технологий построения изображений, предполагающих формирование объемных 3D-моделей — они легче для восприятия, но не требуют больших дополнительных затрат времени и средств. К таким методам следует отнести технологии смешанной, виртуальной и дополненной реальности. Их применение позволяет построить высококачественную виртуальную 3D-модель анатомии пациента, которая может преодолеть ограничения КТ и печатных 3D-моделей. Хирург имеет возможность просматривать модель и управлять ею с помощью различных приспособлений, например очков или закрепленного на голове дисплея. Кроме того, 3D-модели служат ценным образовательным инструментом.

Краткая история и понятие о смешанной, дополненной и виртуальной реальности. В медицине

принципы построения 3D-моделей начали применять в начале 90-х годов. Первые программы для получения объемных моделей создавали для уточнения сложной анатомии при планировании хирургических вмешательств и для обучения хирургическим процедурам, включая процесс планирования операции в виртуальной реальности (VR). При этом применяли уже имевшееся на тот момент программное и аппаратное обеспечение, разработанное Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства США (NASA) [4].

Начало технологии получения трехмерного объемного изображения было положено в 1950-х годах с ранних прототипов технологий виртуальной реальности. Создание первых устройств приписывают Мортону Хейлигу (Morton Heilig), предложившему идею мультисенсорного кинематографического и имитационного ощущения [5]. Усовершенствованный головной дисплей (Head-Mounted Display, HMD) был создан в 1966–1968 гг. Айваном Сазерлендом (Ivan Sutherland). Его конструкция включала две электронно-лучевые трубки, которые при одновременном применении создавали стереоскопический дисплей с полем зрения 40°. Вследствие необычного вида устройство получило название “Дамоклов меч”.

Наряду с первыми головными дисплеями были разработаны периферийные устройства, которые обеспечивали тактильную обратную связь. Работа в этой области была в значительной степени инициирована NASA и другими правительственными учреждениями, заинтересованными в разработке летных тренажеров и обучающих систем для исследования космоса. В конечном счете коммерческие версии VR-систем со встроенными периферийными устройствами с тактильной обратной связью были выпущены в конце 1980-х — начале 1990-х годов крупными разработчиками видеоигр и индустрией развлечений, но страдали от проблем с производительностью и высокой стоимостью.

В литературе, посвященной технологиям создания изображений, непременно встречаются три понятия, зачастую пересекающихся: это виртуальная, дополненная и смешанная реаль-

ность. Виртуальная реальность (Virtual Reality, VR) полностью перемещает человека в другое место. При этом реальное окружение пользователя скрывается и заменяется окружением, сгенерированным компьютером, или изображением, которое было снято ранее. Пользователи носят гарнитуру, которая обеспечивает эффекты объемного звучания новой среды. В настоящее время технология полной виртуальной реальности совершенствуется и может также находить применение и в хирургии – как при обучении, так и при планировании операций. Дополненная реальность (Augmented Reality, AR) позволяет человеку видеть реальный физический мир, но с наложением на него слоя цифрового изображения в режиме реального времени. Некоторые знакомые примеры AR – это Google Glass и приложение Pokémon GO для мобильных устройств. Смешанная реальность (Mixed Reality, MR) позволяет человеку видеть реальный физический мир, а также правдоподобные виртуальные объекты. Виртуальный объект привязан к точке в реальном мире, что увеличивает вероятность того, что человек, участвующий в MR-опыте, будет воспринимать его как реальный. MR отличается от AR тем, что позволяет пользователю ощутить глубину и перспективу. Если пользователь отклоняется от виртуального объекта в режиме MR, объект будет казаться меньше. Обычно этого не происходит при применении AR – расстояние до виртуального объекта не изменится [6]. При дальнейшем изложении будем использовать понятия AR и MR как синонимичные, несмотря на отмечаемую рядом авторов разницу между ними.

Применение систем дополненной и смешанной реальности. Наиболее часто в литературе описывают систему HoloLens, созданную с применением программного обеспечения Microsoft. Наиболее современный вариант этой системы в настоящее время носит название HoloLens 2. Гарнитура HoloLens 2 MR (Microsoft) представляет собой беспроводный голографический компьютер, размещенный внутри носимой гарнитуры [7]. Он оснащен голографической линзой, которая содержит датчики и дисплей. Положение головы и глаз система отслеживает световыми и инфракрасными камерами, а движение оценивает с помощью датчиков – акселерометров, гироскопов и магнитометров. Гарнитура позволяет видеть операционное поле, осуществлять удаленное консультирование и дистанционную связь между разными специалистами в режиме реального времени [8].

Наибольшее число публикаций по теме дополненной реальности относится к области ортопедии, челюстно-лицевой хирургии и нейрохирургии [9, 10]. Это может быть связано и с тем, что процесс “привязки” построенной трехмерной

модели к твердым и неподвижным костным структурам отработан в настоящее время в наибольшей степени. Однако в открытой и эндоскопической хирургии мягких тканей было проведено лишь несколько исследований с применением AR. Причина этого заключается в том, что в открытой хирургии задача совмещения и отображения операционного поля и виртуальной модели еще не решена. На этот процесс в AR влияют проблемы, связанные с деформацией органов, неконтролируемым дыханием пациента и постоянным контактом хирургических инструментов с мягкими тканями, и они пока технологически полностью не преодолены [11–13].

Методы дополненной реальности в хирургии печени и поджелудочной железы (ПЖ). Основная часть публикаций носит характер сообщений о применении технологии AR в работе; значимых исследований мало. Группа авторов из Германии со ссылкой на других коллег в 2019 г. сообщила о применении технологии интраоперационной смешанной реальности в хирургии печени. Авторы описали 2 наблюдения сложных операций на печени. Применяли головной дисплей смешанной реальности (Microsoft HoloLens) для получения трехмерного голографического изображения печени пациента. Голограмма была построена на основе предоперационной КТ [14–16].

Несмотря на очевидные трудности, в последнее время появляется все больше информации об успешном применении 3D-моделей и в гепатопанкреатобилиарной хирургии. Некоторые авторы сообщали об использовании AR во время операции на ПЖ, и все они описывали полезность AR для выявления поражений, безопасного иссечения при сохранении соседних сосудов или органов и правильной линии резекции [17–19]. Более того, для резекции ПЖ и особенно панкреатодуоденальной резекции (ПДР) были описаны различные подходы, и один из них, в частности, техника “artery first” при местнораспространенных опухолях для оценки инвазии верхней брыжеечной артерии. В этих ситуациях дополненная реальность, основанная на прозрачности виртуальных образов сосудистых и паренхиматозных структур, была особенно полезна для безопасного выполнения приема Pringle, позволяя найти правильную плоскость рассечения вдоль правого края верхней брыжеечной артерии.

AR также используется в гепатобилиарной хирургии при первичных новообразованиях печени и желчевыводящих путей, а также при метастатическом поражении. При резекциях печени AR позволяет уточнить планируемые границы резекции и облегчает определение точного местоположения, размера и формы опухоли, а также синтопию сосудов. Также успешно

может применяться виртуальная модель и при операциях на протоковой системе, при опухолях Клацкина и стриктурах желчных протоков [20–22].

При помощи головного дисплея или смарт-очков, как у системы HoloLens, возможно как оценивать построенную 3D-модель, так и получать прочую информацию. Сообщают о возможности применения дисплея для фотосъемки, записи видео или прямой трансляции в целях обучения, преподавания, документирования. Система позволяет осуществлять связь с врачами, медсестрами и хирургами при телеконсультациях по громкой связи во время операции, просматривать медицинские записи пациентов, например истории болезни, результаты лабораторных исследований.

Актуальность темы, ее перспективность послужили толчком для применения системы дополненной реальности и в условиях нашего центра. **Цель работы** – описать опыт применения системы смешанной реальности при операциях на органах брюшной полости в условиях одного центра.

● Материал и методы

В период с ноября 2021 по май 2022 г. с применением технологии дополненной реальности на базе Университетской клиники МГМСУ им. А.И. Евдокимова лапароскопически оперировали 5 пациентов (таблица). После осуществления лапароскопического доступа и мобилизации перед началом основного этапа хирургического вмешательства при помощи смарт-очков проводилось наложение объемной 3D-модели на изображение, передаваемое с лапароскопа на экран монитора. В дальнейшем 3D-модель использовали во время операции по мере необходимости, для уточнения синтопии сосудов и прилежащих к зоне операции органов. Учитывая небольшое число операций, строгого протокола применения технологии в этом исследовании не разработали. Также не проводили и статистический анализ материала.

Подготовка модели смешанной реальности. Всем пациентам в рамках исследования выполнена предоперационная мультиспиральная КТ с внутривенным болюсным контрастированием. Полученные изображения срезов толщиной 0,5 в формате DICOM были обработаны для получения стереолитографических STL-файлов. Для создания 3D-модели органа изображения были сегментированы по сосудистой сети, по опухоли с использованием метода динамического роста области или метода водораздела. Созданная 3D-модель была экспортирована в виде STL-файла (от англ. stereolithography) – в формате, широко применяемом для хранения трехмерных моделей. На рис. 1–3 показаны изображения 3D-моделей, полученные после обработки данных КТ.

Применяли разработанный ранее сотрудниками МГМСУ и МГТУ им. Н.Э. Баумана программный пакет HLOIA® (Healthy Life: Operations with Innovative Assistance). HLOIA® была создана на основе 3 отдельных частей: веб-приложения, облачного сервера и пользовательского приложения для смарт-очков. Подготовленные путем обработки данных КТ stl-файлы были загружены в приложение HLOIA®. Веб-приложение HLOIA® основано на 3D-библиотеке для работы с объектами и расположено по адресу <http://hloia.org>. В разделе “Редактор” веб-приложения были скорректированы настройки цвета и прозрачности моделей MR, которые были сохранены на облачном сервере HLOIA®. Для адекватной работы с приложением необходимо иметь высокоскоростное подключение к интернету и смарт-очки HoloLens. После авторизации на сайте HLOIA® на смарт-очки HoloLens устанавливалось приложение, с помощью которого на очки загружается ранее сохраненная на облачном сервере объемная модель органа. Загруженная через приложение на очки трехмерная модель становится доступной для автономного использования. Примеры использования 3D-модели в условиях операционной представлены на рис. 3–5. Полученная модель при помощи технологии

Таблица. Характеристика пациентов и оперативных вмешательств

Table. Characteristics of patients and surgical interventions

№	Пациент, возраст	Диагноз	Операция
1	Мужчина, 25 лет	Эхинококкоз печени, эхинококковые кисты S _{IV-VI}	Лапароскопическая резекция S _{IV-VI} , перицистэктомия
2	Женщина, 79 лет	Рак головки ПЖ cT2N1M0, 6 курсов ПХТ	Лапароскопическая ПДР
3	Мужчина, 55 лет	Киста брыжейки тонкой кишки	Лапароскопическое удаление кисты брыжейки тонкой кишки
4	Мужчина, 67 лет	Нейроэндокринная опухоль тела ПЖ	Лапароскопическая резекция тела и хвоста ПЖ
5	Женщина, 46 лет	Рак головки ПЖ cT2NxM0	Лапароскопическая ПДР

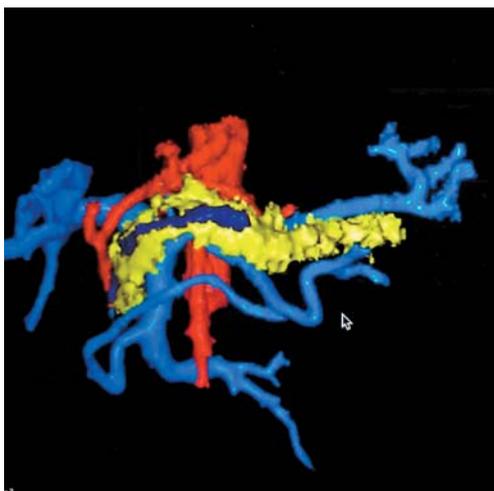


Рис. 1. 3D-модель. ПЖ и синтопия сосудистых структур.
Fig. 1. 3D Model. Pancreas and syntopy of vascular structures.



Рис. 2. 3D-модель. Кистозная опухоль брюшной полости, синтопия сосудов.
Fig. 2. 3D Model. Abdominal cystic tumor, syntopy of vessels.



Рис. 3. Интраоперационное фото. Наложение 3D-модели с опухолью головки ПЖ на экран.
Fig. 3. Intraoperative image. Setting 3D model with a pancreatic head tumor on the screen.



Рис. 4. Интраоперационное фото. Работа с моделью, отражающей синтопию сосудов.
Fig. 4. Intraoperative image. Working with a model for syntopy of vessels.



Рис. 5. Интраоперационное фото. Наложение 3D-модели с опухолью тела и хвоста ПЖ на экран.
Fig. 5. Intraoperative image. Setting 3D model with a pancreatic body and tail tumor on the screen.

смешанной реальности привязана к любой точке пространства через систему координат, независимо от положения очков. Управление моделью MR возможно путем особых команд, опосредованных жестами рук и интуитивно понятных. Весь процесс создания MR-модели от сегментации КТ до загрузки ее в смарт-очки с облачного сервера занимает 20–30 мин и может выполняться врачом без опыта работы в области биоинженерии или графического дизайна.

● Результаты и обсуждение

При использовании 3D-моделей во время операции требовалось некоторое время для надевания очков, масштабирования модели и ее наложения на экранное изображение. Тем не менее на каждой операции этот процесс занимал от 15 до 25 мин (среднее время 21 мин), на которые увеличивалось время операции. При этом

к моменту последней выполненной операции время, необходимое на регистрацию и наложение виртуального объекта на изображение, получаемое при помощи лапароскопа, сократилось, что связано с освоением технологии работы со смарт-очками. При этом на дооперационном этапе применение технологии AR в работе не влияло на планирование объема операции. Во всех наблюдениях применение 3D-модели не изменило стандартного хода операции. Однако во время операции по поводу резидуального эхинококкоза печени применение AR облегчило ориентировку хирурга на этапе резекции печени и манипуляции вблизи сосудисто-секреторных ножек. При совмещении изображения с интраоперационной картиной стало возможным выделение эхинококковой кисты в направлении правой сегментарной вены $S_{V, VIII}$ без риска ее повреждения, поскольку на 3D-изображении

она располагалась в стороне от направления диссекции. Во время лапароскопических ПДР и корпорокаудальной резекции применение AR улучшало понимание анатомии пациента на этапе создания туннеля под ПЖ и при “отходе” от верхней брыжеечной и селезеночной вены, а также при определении уровня пересечения паренхимы ПЖ. Это улучшение было связано с 3D-изображением перед глазами хирурга, сформированным и совмещенным с интраоперационным изображением, полученным с лапароскопа, без необходимости интерпретации серии 2D-изображений.

При удалении кистозной опухоли брюшной полости применение AR не дало преимуществ перед стандартным предоперационным обследованием и планированием объема операции. В этом наблюдении технология была применена как дополнительное исследование, необходимое для накопления опыта и отработки методики. После просмотра AR-модели хирург чувствовал себя более уверенно в отношении сосудистой анатомии и синтопии удаляемой опухоли или эхинококковой кисты с сосудистыми структурами.

Исходя из полученного опыта, наиболее длительным при использовании смарт-очков является процесс масштабирования и совмещения виртуального и экранного изображений, выполняемый вручную. Об этом же сообщают авторы, применявшие технологии смешанной реальности в хирургии мягких тканей. При этом, как и отмечено в литературе, полное совмещение модели с реальным органом ограничено в связи с трудностями наложения неподвижной модели на подвижное интраоперационное изображение. В свою очередь, подвижность интраоперационного изображения связана с дыханием пациента и движениями во время операции – тракцией органов и тканей, их смещением и деформацией во время мобилизации, резекции или диссекции: в настоящее время это трудно алгоритмизировать и заложить в программу совмещения. Поэтому во время операции модель больше применяли подобно снимкам КТ в операционной, но с большим удобством для хирурга, поскольку со смарт-очками не требуется отходить от операционного стола и покидать операционную, что требует смены стерильного хирургического костюма и повторной обработки рук.

● Заключение

Таким образом, сгенерированные компьютером данные, полученные из двухмерных изображений дооперационных исследований и наложенные на изображение операционного поля, могут помочь хирургу во время операции. Современная литература подтверждает, что как в челюстно-лицевой хирургии, нейрохирургии

и ортопедии, так и в абдоминальной хирургии AR получает все большее распространение, хотя результаты проспективных рандомизированных исследований еще не опубликованы. AR можно рассматривать как перспективный инструмент в абдоминальной хирургии. Тем не менее необходимо дальнейшее совершенствование AR-систем для увеличения производительности.

Для решения проблемы подвижности интраоперационного изображения, приводящей к неточностям в регистрации, необходимо постоянное обновление виртуальной модели во время операции. Использование других методов – интраоперационного УЗИ, МРТ – может обеспечить дополнительные данные для более совершенного построения виртуальной модели. В настоящее время совмещение изображений происходит вручную; необходимо усовершенствовать технику регистрации, чтобы сделать систему AR полностью автоматизированной.

Можно констатировать, что технология AR направлена на эффективную интеграцию хирургической навигации с виртуальным планированием, соответствующим анатомии пациента. Однако необходимо продолжать накопление опыта применения технологии и поиск решений проблем совмещения изображений для более глубокого внедрения системы дополненной реальности и расширения хирургических горизонтов.

Участие авторов

Панченков Д.Н. – концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.

Абдулкеримов З.А. – концепция и дизайн исследования, редактирование.

Семенякин И.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование.

Габдуллин А.Ф. – написание текста, редактирование.

Григорьева Е.В. – сбор и обработка материала, редактирование.

Климов Д.Д. – сбор и обработка материала, написание текста.

Прохоренко Л.С. – сбор и обработка материала, написание текста.

Грицаенко А.И. – сбор и обработка материала, редактирование.

Лискевич Р.В. – сбор и обработка материала, написание текста.

Тупикин К.А. – сбор и обработка материала, написание текста, редактирование.

Author contributions

Panchenkov D.N. – concept and design of the study, editing, approval of the final version of the article.

Abdulkerimov Z.A. – concept and design of the study, editing.

Semeniakin I.V. – concept and design of the study, editing.

Gabdullin A.F. – writing text, editing.

Grigorieva E.V. – collection and processing of material, editing.

Klimov D.D. – collection and processing of material, text writing

Prokhorenko L.S. – collection and processing of material, text writing.

Gritsaenko A.I. – collection and processing of material, editing.

Liskevich R.V. – collection and processing of material, writing text.

Tupikin K.A. – collection and processing of material, writing text, editing.

● Список литературы [References]

- Wake N., Wysock J.S., Bjurlin M.A., Chandarana H., Huang W.C. “Pin the tumor on the kidney” an evaluation of how surgeons translate CT and MRI data to 3D models. *Urology*. 2019; 131:255–261. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2019.06.016>
- Bernhard J.C., Isotani Sh., Matsugasumi T., Duddalwar V., Hung A.J., Suer E., Baco E., Satkunavivam R., Djaladat H., Metcalfe Ch., Hu B., Wong K., Park D., Nguyen M., Hwang D., Bazargani S.T., de Castro Abreu A.L., Aron M., Ukimura O., Gill I.S. Personalized 3D printed model of kidney and tumor anatomy: a useful tool for patient education. *World J. Urol.* 2016; 34 (3): 337–345. <https://doi.org/10.1007/s00345-015-1632-2>
- Silberstein J.L., Maddox M.M., Dorsey Ph., Feibus A., Thomas R., Lee B.R. Physical models of renal malignancies using standard cross-sectional imaging and 3-dimensional printers: a pilot study. *Urology*. 2014; 84 (2): 268–272. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2014.03.042>
- Rosen J.M., Soltanian H., Redett R.J., Laub D.R. Evolution of virtual reality. *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.* 1996; 15 (2): 16–22.
- Heilig M.L. Stereoscopic-television apparatus for individual use. US Patent, US2955156A. 1960; 2: 155–156.
- Brigham T.J. Reality check: basics of augmented, virtual, and mixed reality. *Med. Ref. Serv. Q.* 2017; 36 (2): 171–178. <https://doi.org/10.1080/02763869.2017.1293987>.
- Microsoft About HoloLens 2, <https://docs.microsoft.com/en-us/hololens/hololens2-hardware> (accessed September 23 2021), <https://docs.microsoft.com>.
- Van der Putten K., Anderson M.B., van Geenen R.C. Case report: looking through the lens: the reality of telesurgical support with interactive technology using Microsoft’s HoloLens 2. *Case Rep. Orthop.* 2022; 2022:5766340. <https://doi.org/10.1155/2022/5766340>
- Vavra P., Roman J., Zonca P., Ihnat P., Nemeč M., Kumar J., Habib N., El-Gendi A. Recent development of augmented reality in surgery: a review. *J. Healthc. Eng.* 2017; 2017: 4574172. <https://doi.org/10.1155/2017/4574172>
- Lysenko A., Razumova A., Yaremenko A., Ivanov V., Strelkov S., Krivtsov A. The use of augmented reality navigation technology in combination with endoscopic surgery for the treatment of an odontogenic cyst of the upper jaw: a technical report. *Imaging Sci. Dent.* 2022; 52 (2): 225–230. <https://doi.org/10.5624/isd.20210256>
- Cutolo F., Parchi P.D., Ferrari V. Video see through AR head-mounted display for medical procedures. In: 2014 IEEE international symposium on mixed and augmented reality (ISMAR). 2014; 10–12: 393–396. <https://doi.org/10.1109/ismar.2014.6948504>
- Navab N., Traub J., Sielhorst T., Feuerstein M., Bichlmeier C. Action- and workflow-driven augmented reality for computer-aided medical procedures. *IEEE Comput. Graph.* 2007; 27 (5): 10–14. <https://doi.org/10.1109/Mcg.2007.117>
- Cutolo F. Augmented reality in image-guided surgery. In: Lee N. Encyclopedia of computer graphics and games. Springer, Cham: 1–11. https://doi.org/10.1007/978-3-319-08234-9_78-1
- Haouchine N., Dequidt J., Berger M.O., Cotin S. Deformation-based augmented reality for hepatic surgery. *Stud. Health Technol. Inform.* 2013; 184: 182–188.
- Sauer I.M., Queisner M., Tang P., Moosburner S., Hoepfner O., Horner R., Lohmann R., Pratschke J. Mixed reality in visceral surgery: development of a suitable workflow and evaluation of intraoperative use-cases. *Ann. Surg.* 2017; 266 (5): 706–712. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000002448>
- Huber T., Hadzijušufovic E., Hansen Ch., Paschold M., Lang H., Kneist W. Head-mounted mixed-reality technology during robotic-assisted transanal total mesorectal excision. *Dis. Colon. Rectum.* 2019; 62 (2): 258–261. <https://doi.org/10.1097/DCR.0000000000001282>
- Mönch J., Mühler K., Hansen Ch., Oldhafer K.-J., Stavrou G., Hillert Ch., Logge Ch., Preim B. The Liver Surgery Trainer: training of computer-based planning in liver resection surgery. *Int. J. Comput. Assist. Radiol. Surg.* 2013; 8 (5): 809–818. <https://doi.org/10.1007/s11548-013-0812-z>
- Okamoto T., Onda S., Yasuda J., Yanaga K., Suzuki N., Hattori A. Navigation surgery using an augmented reality for pancreatotomy. *Dig. Surg.* 2015; 32 (2): 117–123. <https://doi.org/10.1159/000371860>
- Onda S., Okamoto T., Kanehira M., Fujioka S., Suzuki N., Hattori A., Yanaga K. Short rigid scope and stereo-scope designed specifically for open abdominal navigation surgery: clinical application for hepatobiliary and pancreatic surgery. *J. Hepatobiliary Pancreat. Sci.* 2013; 20 (4): 448–453. <https://doi.org/10.1007/s00534-012-0582-y>
- Ntourakis D., Memeo R., Soler L., Marescaux J., Mutter D., Pessaux P. Augmented reality guidance for the resection of missing colorectal liver metastases: an initial experience. *World J. Surg.* 2016; 40 (2): 419–426. <https://doi.org/10.1007/s00268-015-3229-8>
- Okamoto T., Onda S., Matsumoto M., Gocho T., Futagawa Y., Fujioka S., Yanaga K., Suzuki N., Hattori A. Utility of augmented reality system in hepatobiliary surgery. *J. Hepatobiliary Pancreat. Sci.* 2013; 20 (2): 249–253. <https://doi.org/10.1007/s00534-012-0504-z>
- Tang R., Ma L., Xiang C., Wang X., Li A., Liao H., Dong J. Augmented reality navigation in open surgery for hilar cholangiocarcinoma resection with hemihepatectomy using video-based in situ three-dimensional anatomical modeling: a case report. *Medicine (Baltimore)*. 2017; 96 (37): e8083. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000008083>

Сведения об авторах [Authors info]

Панченков Дмитрий Николаевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой хирургии и хирургических технологий ФДПО, заведующий лабораторией минимально инвазивной хирургии НИИ ТЕХНОБИОМЕД ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России. <http://orcid.org/0000-0001-8539-4392>. E-mail: dnpanchenkov@mail.ru

Абдулкеримов Зайнулла Ахмедович – канд. мед. наук, доцент кафедры хирургии и хирургических технологий ФДПО, заведующий хирургическим отделением №1 Университетской клиники ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0003-4555-5184>. E-mail: dr-zay@yandex.ru

Семенякин Игорь Владимирович – доктор мед. наук, профессор кафедры госпитальной хирургии ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России. <http://orcid.org/0000-0003-3246-7337>. E-mail: iceig@mail.ru

Габдуллин Амир Файльевич – врач-уролог урологического отделения Университетской клиники ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России. <http://orcid.org/0000-0002-9989-7879>. E-mail: dr.gabdullin@gmail.com

Григорьева Елена Владимировна – доктор мед. наук, заведующая отделением лучевой диагностики Университетской клиники ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России. <http://orcid.org/0000-0001-8207-7180>. E-mail: iara333@yahoo.com

Климов Даниил Дмитриевич – канд. техн. наук, заведующий лабораторией медико-роботических цифровых технологий НИИ ТЕХНОБИОМЕД ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России. <http://orcid.org/0000-0001-6892-9324>. E-mail: daniil.klimov@gmail.com

Прохоренко Леонид Сергеевич – младший научный сотрудник лаборатории медико-роботических цифровых технологий НИИ ТЕХНОБИОМЕД ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России. <http://orcid.org/0000-0002-9411-5655>. E-mail: pro.leonid@gmail.com

Грицаенко Андрей Иванович – канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории минимально инвазивной хирургии НИИ ТЕХНОБИОМЕД ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России. <http://orcid.org/0000-0001-7641-6975>. E-mail: oper.ai@mail.ru

Лискевич Роман Витальевич – канд. мед. наук, ассистент кафедры хирургии и хирургических технологий ФДПО, врач-хирург хирургического отделения №1 Университетской клиники ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России. <http://orcid.org/0000-0002-5455-2439>. E-mail: iluchistij@mail.ru

Тупикин Кирилл Алексеевич – канд. мед. наук, ассистент кафедры хирургии и хирургических технологий ФДПО, врач-хирург хирургического отделения №1 Университетской клиники ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России. <http://orcid.org/0000-0001-5467-0737>. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

Для корреспонденции *: Тупикин Кирилл Алексеевич – 111398 Москва, ул. Кусковская, д. 1а, стр. 4, Российская Федерация. Тел.: +7-909-382-42-34. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

Dmitry N. Panchenkov – Doct. of Sci. (Med.), Head of Department of Surgery and Surgical Technologies, Faculty of Advanced Professional Education, Head of Laboratory of Minimally Invasive Surgery, TECHNOBIOMED Research Institute, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. <http://orcid.org/0000-0001-8539-4392>. E-mail: dnpanchenkov@mail.ru

Zaypulla A. Abdulkarimov – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Surgery and Surgical Technologies, Faculty of Advanced Professional Education, Head of Surgical Unit No. 1, University Clinic, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. <https://orcid.org/0000-0003-4555-5184>. E-mail: dr-zay@yandex.ru

Igor V. Semeniakin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Hospital Surgery Department, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. <http://orcid.org/0000-0003-3246-7337>. E-mail: iceig@mail.ru

Amir F. Gabdullin – Urologist, Urological Unit of University Clinic, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. <http://orcid.org/0000-0002-9989-7879>. E-mail: dr.gabdullin@gmail.com

Elena V. Grigorieva – Doct. of Sci. (Med.), Head of Diagnostic Radiology Unit, University Clinic, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. <http://orcid.org/0000-0001-8207-7180>. E-mail: iara333@yahoo.com

Daniil D. Klimov – Cand. of Sci. (Techn.), Head of Laboratory of Medical and Robotic Digital Technologies, TECHNOBIOMED Research Institute, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. <http://orcid.org/0000-0001-6892-9324>. E-mail: daniil.klimov@gmail.com

Leonid S. Prokhorenko – Junior Laboratory Researcher, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. <http://orcid.org/0000-0002-9411-5655>. E-mail: pro.leonid@gmail.com

Andrey I. Gritsaenko – Cand. of Sci. (Med.), Senior Laboratory Researcher, Laboratory of Minimally Invasive Surgery, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. <https://orcid.org/0000-0001-7641-6975>. E-mail: oper.ai@mail.ru

Roman V. Liskevich – Cand. of Sci. (Med.), Research Assistant, Department of Surgery and Surgical Technologies, Faculty of Advanced Professional Education, Surgeon, Surgery Unit No. 1, University Clinic, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. <http://orcid.org/0000-0002-5455-2439>. E-mail: iluchistij@mail.ru

Kirill A. Tupikin – Cand. of Sci. (Med.), Research Assistant, Department of Surgery and Surgical Technologies, Faculty of Advanced Professional Education, Surgeon, Surgery Unit No. 1, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry. <http://orcid.org/0000-0001-5467-0737>. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

For correspondence *: Kirill A. Tupikin – 1a, b. 4, Kuskovskaya str., Moscow, 111398, Russian Federation. Phone: +7-909-382-42-34. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

Статья поступила в редакцию журнала 09.09.2022.

Received 9 September 2022.

Принята к публикации 24.01.2023.

Accepted for publication 24 January 2023.

Комментарий К вопросу о дополненной реальности (AR) в хирургии

Дополненная реальность (AR) уже на протяжении нескольких лет активно обсуждается как ожидаемо полезная эффективная технология улучшения интраоперационной навигации в хирургии. Как отмечают авторы статьи, опыт применения AR существует в ряде областей хирургии, в которых роль интраоперационной навигации экстремально важна: нейрохирургия, челюстно-лицевая хирургия, ортопедия и др. Также она используется при обучении молодых хирургов и в работе с пациентами (<https://youtu.be/n5uraZqxksY>).

На сегодняшний день, несмотря на широкое обсуждение в профессиональных сообществах возможности успешного применения дополненной реальности, технология пока показывает свое несовершенство в практическом применении. Это касается работы с органами и тканями, меняющими во время оперативного вмешательства свои размеры, конфигурацию и формы, изменяющими положение в пространстве при дыхании и тракции, за счет технологических сложностей наложения диагностических изображений, масштабирования изображений КТ и УЗИ с реальным изображением во время операции.

В настоящее время практическое использование рассматриваемой в статье технологии имеет новаторский характер. Авторы, внедряя AR в клиническую практику, пытаются найти рациональное зерно в ее применении, хотя объективно оценить эффективность описываемой методики пока еще трудно. Однако, несмотря на консерватизм хирургии в целом, технологический про-

гресс не стоит на месте и, вероятно, в скором времени, благодаря в том числе и работе авторов статьи, мы сможем получить новые, более совершенные системы, использующие AR, позволяющие во время оперативного вмешательства использовать необходимые изображения для выполнения каждого этапа операции.

Хочу напомнить, что увлечение 3D-реконструкцией компьютерных томограмм, которому 15 лет назад придавали колоссальное значение, нашло свое место в арсенале хирургов. Пришло понимание, что 3D-реконструкция томограмм, а также выполненное самим хирургом УЗИ зоны интереса являются подспорьем для обязательного формирования у него в сознании всей анатомии перед операцией, четкого понимания соотношения органов и тканей, как пораженных, так и здоровых. Это то, что мы называем “осознанной реальностью” хирурга перед операцией, полученной и сформированной на основании изучения всех видов диагностических изображений.

На сегодняшний день мы не можем с уверенностью и объективно заявить, что дополненная реальность позволит ускорить или упростить процесс выполнения операции. Мы также не имеем пока достаточных результатов, чтобы сделать заключение об уменьшении частоты осложнений при использовании AR как одного из важнейших показателей применения новых технологий в хирургии. И все же мы на правильном пути, ведь в статье авторы демонстрируют устремление к новым технологиям, что, несмотря на серьезное опережение возможностей современной медицины, безусловно, свидетельствует о новаторстве и прогрессе в российской хирургии.

Профессор Ю.Г. Старков