

УДК 616-089:004.92

## ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В МНОГОПРОФИЛЬНОЙ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КЛИНИКЕ: ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Д.А. Суров<sup>1,2</sup>, В.Н. Румянцев<sup>1</sup>, М.С. Коржук<sup>1</sup>, А.Л. Гаврилова<sup>1</sup>, В.Г. Гребеньков<sup>1</sup>, В.М. Иванов<sup>3</sup>, А.Ю. Смирнов<sup>3</sup>, И.М. Климов<sup>1</sup>, А.С. Пономарев<sup>1</sup>, А.Е. Демко<sup>1,2</sup>, А.В. Святненко<sup>2,1</sup>, Г.В. Точильников<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи имени И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Петрова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

**РЕЗЮМЕ.** Представлены результаты анализа опыта применения дополненной реальности (Augmented Reality – AR-технология) коллективом многопрофильной хирургической клиники в различных отраслях хирургии. В исследование, которое проводилось с 2021 по 2025 гг. на кафедре военно-морской хирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова и на ее клинической базе в Научно-исследовательском институте скорой помощи им. И.И. Джанелидзе, включен 151 пациент. Все больные оперированы по поводу различных заболеваний органов груди, живота, таза и конечностей, структура которых представлена злокачественными местнораспространенными опухолями органов живота и таза ( $n=31$ ), доброкачественными заболеваниями органов билиопанкреатодуоденальной зоны и груди ( $n=14$ ), а также инородными телами (осколками) груди, живота и конечностей ( $n=106$ ). Периоперационное применение технологии дополненной реальности включало пять основных этапов: отбор пациентов, выполнение спиральной компьютерной томографии, построение топографо-анатомической модели пациента, выбор методики совмещения (привязки) модели и области оперативного вмешательства, интраоперационное применение технологии. Медико-техническое обеспечение AR-технологии представлено аппаратно-программным комплексом – навигационной системой на основе дополненной реальности «Меджитал Вижн», включающий персональный компьютер и очки дополненной реальности Microsoft HoloLens II. Оценка AR-технологии проводилась по двум направлениям: объективное и субъективное исследование точности интраоперационного сопоставления топографо-анатомической модели; комплексная оценка степени удовлетворенности хирургической бригады различными аспектами применяемой технологии. Среднее отклонение топографо-анатомической модели было наименьшим при использовании AR-технологии при хирургическом удалении инородных тел (осколков), в отличие от остальных видов оперативных вмешательств, такую же динамику продемонстрировали результаты субъективной оценки. Комплексная субъективная оценка удовлетворенности AR-технологией среди хирургов свидетельствует об ее положительном восприятии. Установлено, что опытные хирурги (стаж более 15 лет) большее значение придают роли технологии дополненной реальности на этапе планирования, в отличие от менее опытных, которые выше оценили ее интраоперационное применение. Кроме того, менее опытные специалисты лучше отзываются об эргономике применения AR-технологии в ходе оперативных вмешательств. В исследовании показано, что технология дополненной реальности в хирургии необходима в предоперационном планировании для повышения уверенности хирургической бригады и ее подготовки к предстоящему оперативному вмешательству. Непосредственное сопоставление топографо-анатомической модели с областью оперативного вмешательства на данном этапе развития инженерного сопровождения AR-технологии оправдано при удалении инородных тел (осколков). Полученные в исследовании результаты позволили сформулировать и обосновать мультимодальную концепцию планирования и периоперационного обеспечения безопасности хирургического вмешательства на основе дополненной реальности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дополненная реальность, AR-технология, злокачественные новообразования органов брюшной полости и малого таза, удаление инородных тел, осколки, топографо-анатомическая модель, сопоставление, точность

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Суров Д.А., Румянцев В.Н., Коржук М.С., Гаврилова А.Л., Гребеньков В.Г., Иванов В.М., Смирнов А.Ю., Климов И.М., Пономарев А.С., Демко А.Е., Святненко А.В., Точильников Г.В. Дополненная реальность в многопрофильной хирургической клинике: опыт применения и перспективы развития технологии. *Российский хирургический журнал*. 2025;2(2): 48–62. DOI: 10.18705/3034-7270-2025-1-2-48-62

## AUGMENTED REALITY IN A MULTIDISCIPLINARY SURGICAL CLINIC: APPLICATION EXPERIENCE AND PROSPECTS FOR TECHNOLOGY DEVELOPMENT

D.A. Surov<sup>1,2</sup>, V.N. Rumyantsev<sup>1</sup>, M.S. Korzhuk<sup>1</sup>, A.L. Gavrilova<sup>1</sup>, V.G. Grebenkov<sup>1</sup>, V.M. Ivanov<sup>3</sup>, A.Yu. Smirnov<sup>3</sup>, I.M. Klimov<sup>1</sup>, A.S. Ponomarev<sup>1</sup>, A.E. Demko<sup>1,2</sup>, A.V. Svyatnenko<sup>2,1</sup>, G.V. Tochilnikov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint-Petersburg I.I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup> Petrov Research Institute of Oncology, St. Petersburg, Russia

**ABSTRACT.** The article presents the results of an analysis of the experience of using augmented reality (AR technology) by the staff of a multidisciplinary surgical clinic in various branches of surgery. 151 patients were included in the study, which was conducted from 2021 to 2025 at the Department of Naval Surgery of the Kirov Military Medical Academy and at its clinical base at the I.I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine. All patients underwent surgery for various diseases of the chest, abdomen, pelvis, and extremities, the structure of which was represented by malignant locally spread tumors of the abdomen and pelvis ( $n=31$ ), benign diseases of the biliopancreatoduodenal zone and chest ( $n=14$ ), as well as foreign bodies (fragments) of the chest, abdomen, and extremities ( $n=106$ ). The perioperative application of augmented reality technology included five main stages: patient selection, spiral computed tomography, the construction of a topographic and anatomical model (TAM) of the patient, the choice of a method for combining (linking) the model and the area of surgical intervention, and the intraoperative use of technology. The medical and technical support of AR technology is represented by a hardware and software complex – a navigation system based on augmented reality "Medical Vision", including a personal computer and augmented reality glasses "Microsoft HoloLens II". The evaluation of AR technology was carried out in two directions. The first direction is an objective and subjective study of the accuracy of intraoperative comparison of TAM, the second is a comprehensive assessment of the degree of satisfaction of the surgical team with various aspects of the technology used. The average deviation of the topographic and anatomical model was the lowest when using AR technology for surgical removal of foreign bodies (fragments), unlike other types of surgical interventions, the same dynamics was demonstrated by the results of a subjective assessment. A comprehensive subjective assessment of AR technology satisfaction among surgeons, in general, indicates its positive perception. It was found that experienced surgeons (with more than 15 years of experience) attach more importance to the role of augmented reality technology at the planning stage, in contrast to less experienced surgeons who rated its intraoperative use higher. In addition, less experienced specialists speak better about the ergonomics of using AR technology during surgical interventions. The study shows that augmented reality technology in surgery is undoubtedly necessary in preoperative planning to increase the confidence of the surgical team and prepare it for the upcoming surgical intervention. A direct comparison TAM with the field of surgical intervention at this stage of the development of engineering support for AR technology is justified when removing foreign bodies (fragments). The results obtained in the study made it possible to formulate and substantiate a multimodal concept of planning and perioperative safety of surgical intervention based on augmented reality.

**KEYWORDS:** *augmented reality, AR technology, malignant neoplasms of the abdominal cavity and pelvis, removal of foreign bodies, fragments, topographic and anatomical model, comparison, accuracy*

**FOR CITATION:** Surov D.A., Rumyantsev V.N., Korzhuk M.S., Gavrilova A.L., Grebenkov V.G., Ivanov V.M., Smirnov A.Yu., Klimov I.M., Ponomarev A.S., Demko A.E., Svyatnenko A.V., Tochilnikov G.V. Augmented reality in a multidisciplinary surgical clinic: application experience and prospects for technology development. *Russian Surgical Journal*. 2025;2(2): 48–62. DOI: 10.18705/3034-7270-2025-1-2-48-62 (In Russ.).

### Введение

В последние годы отчетливо наблюдается курс на повышение безопасности оперативных вмешательств и возрастающий интерес к стратегии предотвращения неблагоприятных событий в хирургии, который реализуется преимуще-

ственно за счет персонализации тактики хирургического лечения. Индивидуальный подход невозможен без оценки топографо-анатомических особенностей пациента, которую значительно упрощает трехмерное моделирование патологического процесса и оперативного вмешательства на основании сегментирования DICOM-файлов,

полученных в результате компьютерной томографии.

Технология дополненной реальности (AR-технология – ДР) появилась в конце XX в., стала неотъемлемой частью жизни современного общества и закономерно продолжает внедряться в практическую медицину, в том числе в хирургию. Принято считать, что трехмерное моделирование с использованием технологии ДР позволяет качественно улучшать диагностику, предоперационное планирование, повышать эффективность и безопасность оперативного вмешательства. Преимущество трехмерного восприятия особенностей топографической анатомии области оперативного вмешательства перед двухмерным несомненно и предопределяет тенденцию последних лет к персонализации подхода к выбору тактики оперативного лечения.

AR-технология активно применяется в стоматологии, нейрохирургии, ортопедии, где большинство авторов единодушно отмечают основные преимущества в виде повышения точности хирургической навигации и сокращения времени оперативного вмешательства [1–4].

В клинике военно-морской хирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова в течение нескольких лет изучаются различные аспекты проблемы применения AR-технологии в хирургическом лечении пациентов с различными (доброкачественными и злокачественными) заболеваниями органов груди, живота, таза, а также с инородными телами (осколками) конечностей [5–7].

На основании результатов критического анализа опыта выполнения 151 оперативного вмешательства с использованием дополненной реаль-

ности сформировали свои представления о целях, задачах, показаниях и технических аспектах ее применения, а также о степени зрелости данной технологии и основных векторах ее совершенствования, которые изложены в материалах представленной статьи.

## Материалы и методы

В исследование, которое проводилось с 2021 по 2025 гг. в клинике военно-морской хирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова и на ее клинической базе в Научно-исследовательском институте скорой помощи им. И.И. Джанелидзе включен 151 пациент, у которых в периоперационном периоде применялась технология ДР.

Все больные оперированы по поводу различных заболеваний органов груди, живота, таза и конечностей, структура которых была представлена злокачественными местнораспространенными опухолями органов живота и таза ( $n=31$ ), доброкачественными заболеваниями органов билиопанкреатодуоденальной зоны и груди ( $n=14$ ), а также инородными телами (осколками) груди, живота и конечностей ( $n=106$ ) (табл. 1).

Используемая в клинике тактика периоперационного (до, во время и после оперативного вмешательства) применения ДР основана на алгоритме, разработанном в процессе критического анализа данных литературы, который с течением времени трансформировался и непрерывно совершенствовался в зависимости от специфики решаемых клинических задач и результатов анализа накопленного опыта.

**Таблица 1.** Характеристика нозологических форм у больных, оперированных с использованием технологии дополненной реальности

Нозологические формы	n	Пол		Возраст, лет	
		М	Ж		
Злокачественные местнораспространенные опухоли	Брюшной полости	5	2	3	67±15
	Малого таза	23	6	17	
	Забрюшинного пространства	3	2	1	
Доброкачественные заболевания	Гепатобилиарной зоны	7	5	2	38±17
	Поджелудочной железы	3	1	2	
	Груди	4	4	0	
Инородные тела (осколки)	Конечностей	89	89	0	44±16
	Груди	7	7	0	
	Живота	10	10	0	
Всего	151	126	25		

В итоге разработан и используется в клинике военно-морской хирургии алгоритм периоперационного применения дополненной реальности, который включает пять основных этапов.

**Отбор пациентов.** Критерии отбора пациентов для периоперационного применения ДР, с учетом проводимых в клинике исследований

данной проблемы: местнораспространенные опухоли органов живота и таза; доброкачественные заболевания органов билиопанкреатодуоденальной зоны, в том числе требующие выполнения сложных резекционных или реконструктивно-восстановительных оперативных вмешательств; инородные тела (осколки)

любой локализации, нуждающиеся в удалении в связи с их клинической значимостью и угрозой развития осложнений.

Необходимо подчеркнуть, что ДР не является альтернативой общепринятых диагностических протоколов, изложенных в действующих клинических (методических) рекомендациях, а представляет собой технологию, потенциально способную повысить их эффективность. Обязательными условиями ее периоперационного применения является полноценное информирование пациента об особенностях использования AR-технологии и документированное согласие больного.

**Выполнение спиральной компьютерной томографии** (при необходимости магнитно-резонансной томографии) с внутривенным контрастированием в различных фазах с формиро-

ванием DICOM-файлов. Недостаточная информативность исследования (выраженные дегенеративно-дистрофические, атеросклеротические, вторичные изменения органов в области оперативного вмешательства) являлась основанием для отказа от периоперационного применения дополненной реальности.

**Построение топографо-анатомической модели (ТАМ)** пациента (рис. 2) и планирование (моделирование) оперативного вмешательства мультидисциплинарной командой. Топографо-анатомическая модель строится путем сегментирования данных предоперационной компьютерной томографии в открытом программном обеспечении 3D Slicer, и на ее основе участниками мультидисциплинарной команды осуществляется предоперационное планирование и подготовка к предстоящей операции (рис. 1).

Построение ТАМ 				
Построение ТАМ 	<b>Планирование оперативного вмешательства участниками мультидисциплинарной команды</b>			
	Оперирующий хирург, ассистенты	Специалист лучевой диагностики	Инженер, IT-специалист	Смежные специалисты
	Формулирование предварительного диагноза	Уточнение диагноза с помощью дополнительных методов исследования	Сегментация	Подтверждение (дополнение) предварительного диагноза
	Оценка топографо-анатомических особенностей области оперативного вмешательства	Обозначение топографо-анатомических структур	Формирование ТАМ	Корректировка ТАМ
	Определение объема оперативного вмешательства	Выявление «критических точек» области оперативного вмешательства	Маркировка критических точек, зоны диссекции, оперативного доступа	Уточнение объема оперативного вмешательства
	Определение заинтересованных структур для трехмерного моделирования	Оценка распространенности опухолевого роста	Формирование точек для совмещения модели	Определение технических особенностей реконструктивно-восстановительного этапа
	Определение вида реконструктивно-восстановительного этапа	Оценка индивидуальных анатомо-топографических характеристик пациента	Дополнение ТАМ (по необходимости), подготовка к ее совмещению	Дополнение ТАМ

**Рис. 1. Планирование (моделирование) участниками мультидисциплинарной команды оперативного вмешательства у больных злокачественными местнораспространенными опухолями**

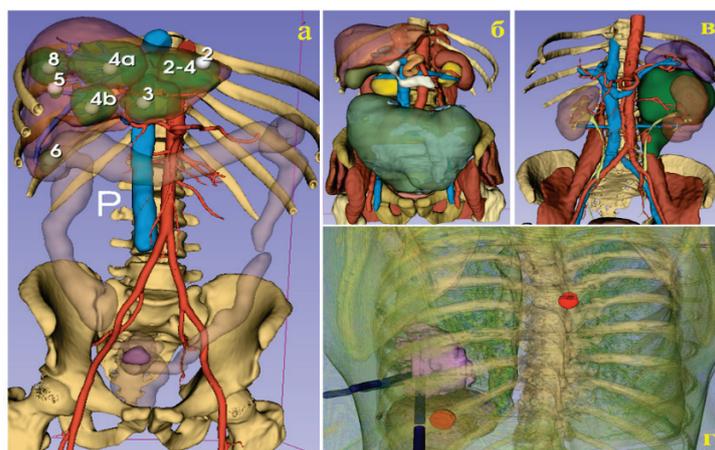


Рис. 2. Топографо-анатомические модели: *а* – пациента со множественными метастазами в печени; *б* – больного с гигантским злокачественным новообразованием малого таза; *в* – пациента с забрюшинной опухолью; *г* – пациента с абсцессом легкого

**Выбор методики совмещения (привязки) модели и объекта.** Медико-техническое обеспечение периоперационного применения AR-технологии представлено аппаратно-программным комплексом – навигационной системой на основе дополненной реальности «Меджитал Вижн», включающий персональный компьютер и очки дополненной реальности Microsoft HoloLens II, изделия, используемые для сопоставления цифрового образа с объектом, а также разработанный и непрерывно совершенствуемый комплект программного обеспечения «Меджитал Вижн Эдитор», включающий программные элементы сопоставления цифрового образа с объектом. Варианты методики совмещения модели и объекта оперативного вмешательства основаны как на пространственных датчиках, так на считывании видеокамерами изображений объектов.

Существует группа способов, основанная на использовании маркера – площадки с QR-кодом, к которому фиксировано пространственное положение модели. Для крепления такой площадки к пациенту использовали различные (инвазивные или неинвазивные) опоры. При этом способе компьютерная томография должна быть выполнена с прикрепленной к пациенту опорой, а во время операции положение последней должно быть в точности воспроизведено.

Другой вариант (перспективный) основан на сохранении в памяти очков положения модели в пространстве. Для изменения положения модели в пространстве используется инструмент «трансформация». Совмещение выполняется перемещением модели в пространстве и подбором такого ее положения, при котором она совпадала с объектом по поверхности кожи либо по сетчатой разметке кожи. Привязки к объекту при этом не происходит, модель привязана к точке координат. Для облегчения совмещения используется голографическая указка со сферическими инфракрасными зеркалами. При этом на модели должны быть определены точки, например, на костных выступах, являющиеся опорными для указки. В режиме регистрации указка поочередно устанавливается в точки сопоставления, очки считывают положение точек в пространстве, и пары точек совмещаются. По совпадению трех пар точек формируется однозначное положение модели в пространстве. Для уменьшения девиации указки и суммарного отклонения применялась разработанная на кафедре военно-морской хирургии технология док-шины, которая предварительно распечатывается на 3D-принтере с углублениями для кончика голографической указки (рис. 3).

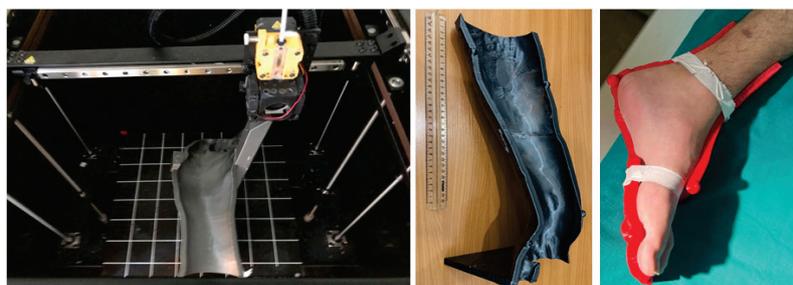


Рис. 3. Изготовление и применение док-шины

### Интраоперационное применение AR-технологии:

- непосредственное совмещение трехмерной модели с областью оперативного вмешательства через очки дополненной реальности (рис. 4, а, 5), установленные у хирурга или ассистента (AR in situ);
- персонализированный клинический топографо-анатомический виртуальный атлас (AR ex situ) (рис. 4, б, 5);
- комбинированный вариант применения AR-технологии (рис. 5).

Непосредственная оценка AR-технологии проводилась по двум направлениям: объективная регистрация и субъективная оценка точности интраоперационного сопоставления ТАМ; комплексная оценка удовлетворенности AR-технологии участниками.

Видеоконтент, иллюстрирующий некоторые аспекты настоящего исследования, представлен в виде коллекции видеофайлов, для доступа к которым необходимо перейти по ссылке – QR-коду (рис. 5).

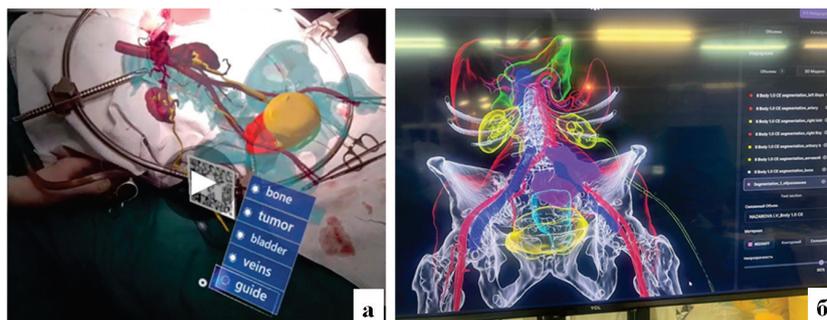


Рис. 4. Интраоперационное применение AR-технологии:  
а – AR in situ (вид из очков ДР); б – AR ex situ

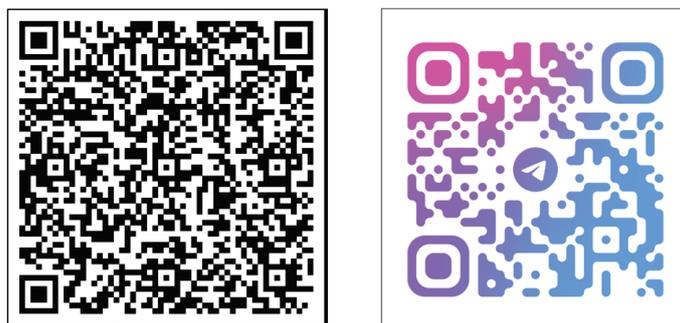


Рис. 5. QR-коды для доступа к видеоконтенту настоящего исследования

Критерием объективной оценки стала ошибка сопоставления ТАМ (Target registration error – TRE) – расстояние между фактическим положением анатомической цели (target) и ее визуализированным положением в ДР во время интраоперационного сопоставления трехмерной модели. TRE отражает, насколько точно виртуальная модель совмещается с реальным объектом в пространстве. Измерение проводилось двумя способами: физическим и вручную с помощью инструментов программного обеспечения. Физическое измерение отклонения проводилось при помощи специальной указки путем сравнения ее координат и координат анатомических структур области оперативного вмешательства. Измерение TRE проводилось при выполнении всех оперативных вмешательств, включенных в исследование ( $n = 151$ ).

При помощи адаптированных опросников (по типу UMUX-Lite), разработанных для каж-

дой отрасли хирургии, осуществлялась субъективная оценка точности сопоставления ТАМ. В общей сложности оценено 56 оперативных вмешательств, опрашивались ведущие хирурги и ассистенты. Проводилось субъективное исследование восприятия методики у хирургической бригады с использованием стандартизированных опросников: принятия технологии; предоперационной уверенности и готовности хирургов; для оценки удовлетворенности технологией по итогам оперативного вмешательства; оценки эргономики оперативного вмешательства с использованием AR-технологии. В качестве показателей эргономики оценивались: удобство использования оборудования, яркость, контрастность, цветовая гамма изображений ТАМ. В опросе приняли участие 27 хирургов с разным хирургическим стажем: более 15 лет ( $n = 9$ ) – «опытные», менее 15 лет ( $n = 18$ ) – «неопытные».

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием ПО GraphPad Prism. Уровень значимости для всех критериев принят равным 0,05.

## Результаты

Методика использования технологии дополненной реальности была различной в зависимости от вида оперативного вмешательства (табл. 2). Непосредственное сопоставление ТАМ с областью оперативного вмешательства всегда применялось при удалении инородных тел (100 %), в других отраслях хирургии чаще всего использовалась комбинация указанного варианта применения AR-технологии и персонифицированного

клинического топографо-анатомического виртуального атласа.

Среднее отклонение ТАМ было наибольшим при использовании AR-технологии в хирургическом лечении местнораспространенных опухолей органов малого таза и брюшной полости, в хирургии доброкачественных заболеваний гепатопанкреобилиарной зоны и груди (табл. 3). Показатели TRE, полученные в результате ручного способа измерения оказались несколько ниже, чем при физическом, без статистической разницы ( $p>0,05$ ).

Наиболее точное сопоставление трехмерной топографо-анатомической модели зарегистрировано при хирургическом лечении пациентов с инородными телами (осколками) конечностей (рис. 6).

Таблица 2. Варианты использования технологии дополненной реальности

Область хирургии			Количество <i>n</i>				
			Всего	Планирование	AR in situ	AR ex situ	Комбинация методик
Висцеральная хирургия	Злокачественные местнораспространенные опухоли	Брюшной полости	5	5	3	2	4
		Малого таза	23	23	17	6	14
		Забрюшинного пространства	3	3	3	1	1
	Доброкачественные заболевания	Гепатобилиарной области	7	7	7	0	4
		Поджелудочной железы	3	3	3	0	3
		Груди	4	4	4	0	0
Инородные тела (осколки)	Конечностей	89	89	89	0	0	
	Груди	7	7	6	1	1	
	Живота	10	10	3	7	2	
Всего			151	151	135	17	29

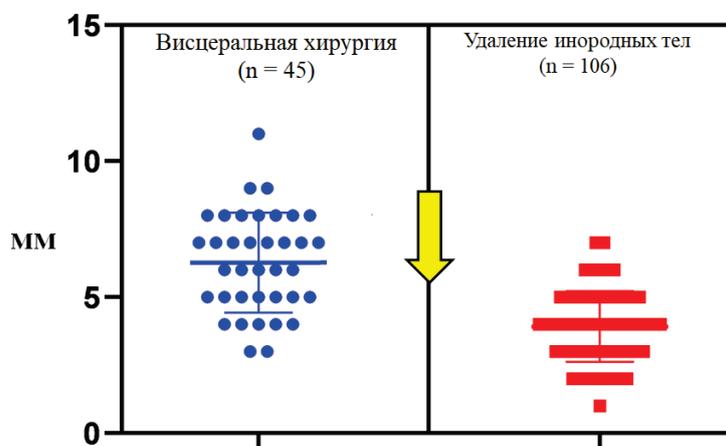
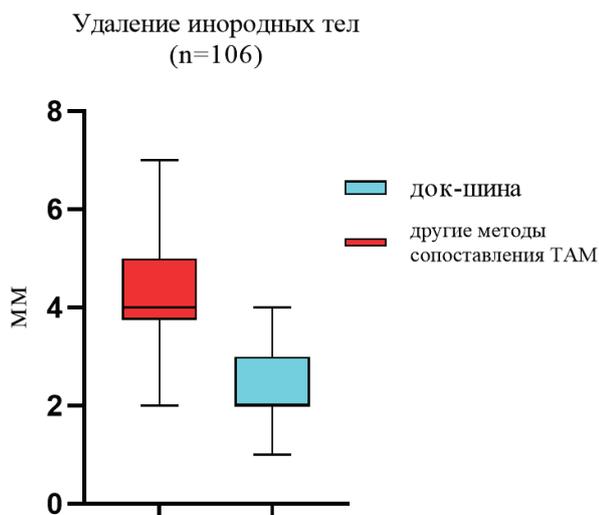


Рис. 6. Среднее отклонение ТАМ при интраоперационном сопоставлении с областью оперативного вмешательства ( $p<0,001$ )

**Таблица 3. Результаты оценки среднего отклонения сопоставления топографо-анатомической модели в различных отраслях хирургии**

Отрасль хирургии		Параметр, мм	TRE (физ.)	TRE (ручн.)	<i>p</i>
Висцеральная хирургия	Злокачественные местнораспространенные опухоли ( <i>n</i> =31)	среднее значение ± ст. отклонение	6,1±1,6	5,2±2,11	> 0,05
		минимум	3	3	
		максимум	8	11	
	Доброкачественные заболевания ( <i>n</i> =14)	среднее значение ± ст. отклонение	6,4±1,03	6,8±1,26	> 0,05
		минимум	4	5	
		максимум	8	8	
Удаление инородных тел (осколков) ( <i>n</i> =106)		среднее значение ± ст. отклонение	3,5±1,28	3,9±1,3	> 0,05
		минимум	1	1	
		максимум	6	7	

Следует отметить, что наибольшей точности сопоставления трехмерной модели с зоной оперативного вмешательства удалось достичь за счет применения разработанной в клинике технологии док-шины (рис. 7).



**Рис. 7. Результаты сравнительного анализа среднего отклонения трехмерной модели при сопоставлении с зоной оперативного вмешательства при использовании док-шины и «стандартных» методик привязки ( $p < 0,001$ )**

Результаты субъективной оценки точности сопоставления ТАМ во многом соответствуют данным ее объективной оценки (рис. 8). Установлено, что, по мнению как ведущих хирургов, так и ассистентов, наиболее точного сопоставления ТАМ с областью оперативного вмешательства удастся достичь при удалении инородных тел (осколков) конечностей. Достоверных различий при сравнении точности привязки модели до, во время и после выполнения основно-

го этапа оперативного вмешательства выявлено не было.

В то же время установлено, что хирурги с большим опытом, в сравнении с менее опытными специалистами, достоверно выше ( $p < 0,01$ ) оценивают ценность дополненной реальности в предоперационном планировании (моделировании) оперативного вмешательства (рис. 9, б). Обратная тенденция отмечена при оценке общей удовлетворенности AR-технологией, где по результатам анализа результатов ( $p < 0,001$ ) проведенного опроса более позитивные результаты получены в группе менее опытных хирургов (рис. 9, в). Эргономика оперативного вмешательства также в меньшей степени ( $p < 0,01$ ) удовлетворила опытных хирургов (рис. 9, г).

Результаты опроса хирургов, учувствовавших в выполнении оперативных вмешательств с применением AR-технологии, показали, что обе группы специалистов на высоком уровне, без статистической разницы в целом, воспринимают использование технологии дополненной реальности в различных отраслях хирургии (рис. 9, а).

В то же время установлено, что хирурги с большим опытом, в сравнении с менее опытными специалистами, достоверно выше ( $p < 0,01$ ) оценивают ценность дополненной реальности в предоперационном планировании (моделировании) оперативного вмешательства (рис. 9, б). Обратная тенденция отмечена при оценке общей удовлетворенности AR-технологией, где по результатам анализа результатов ( $p < 0,001$ ) проведенного опроса более позитивные результаты получены в группе менее опытных хирургов (рис. 9, в). Эргономика оперативного вмешательства также в меньшей степени ( $p < 0,01$ ) удовлетворила опытных хирургов (рис. 9, г).

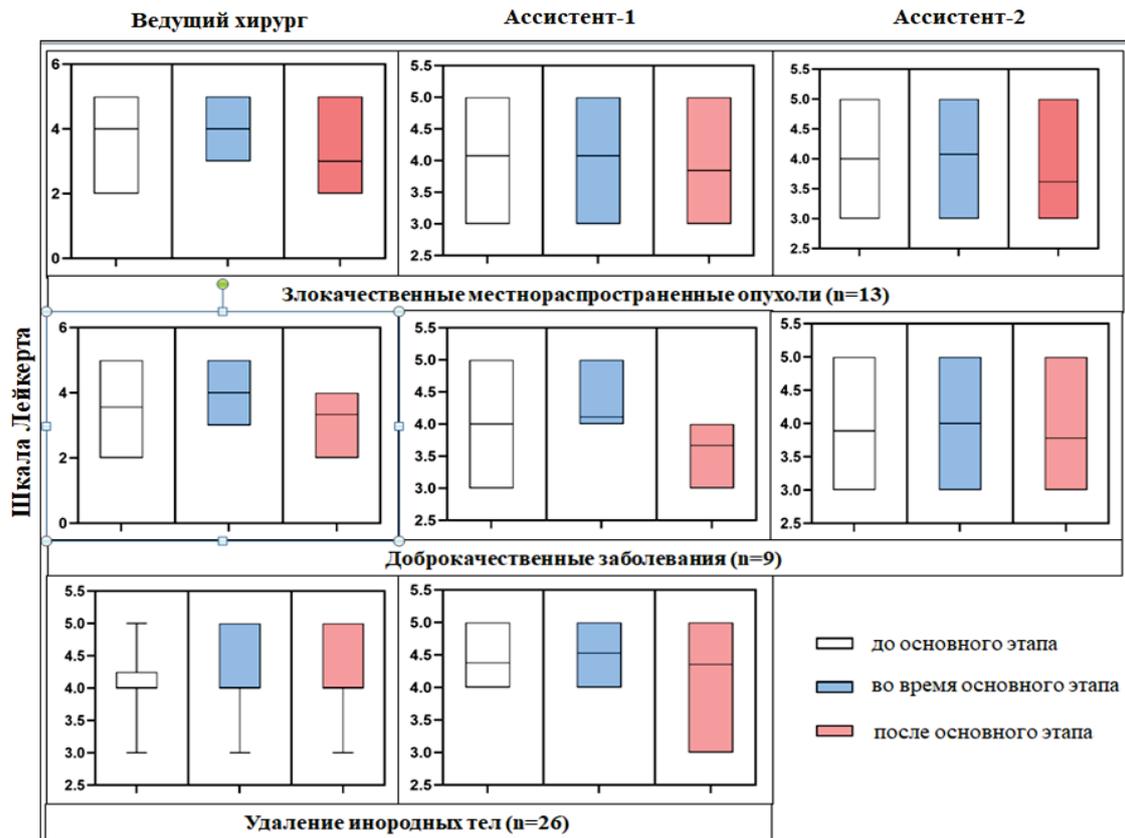


Рис. 8. Результаты субъективной оценки точности интраоперационного сопоставления трехмерной модели (опросник UMUX-Lite) в различных отраслях хирургии (шкала Лейкерта, где 1 – очень плохо, 5 – очень хорошо)

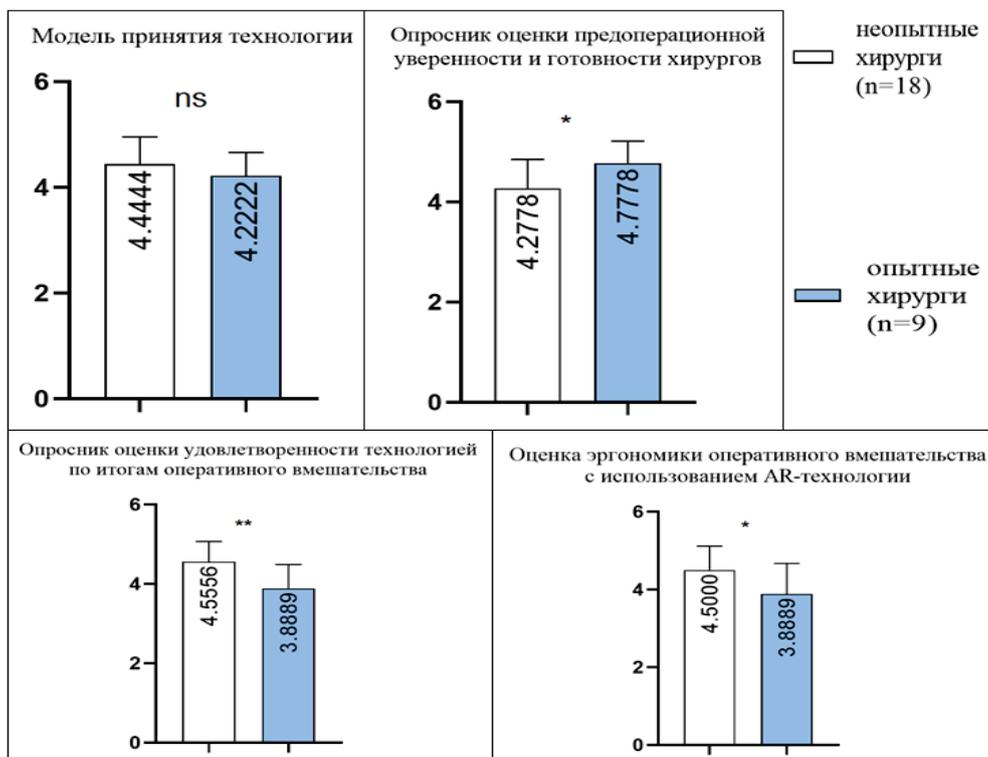


Рис. 9. Результаты субъективной оценки различных аспектов применения AR-технологии при помощи адаптированных опросников по типу UMUX-Lite  
 ns – нет статистических различий; \* –  $p < 0,01$ ; \*\* –  $p < 0,001$

## Обсуждение

Приступая к обсуждению полученных в исследовании результатов и проблемы применения ДР в хирургии, следует отметить неоднозначность оценки ее эффективности в решении определенных тактических задач периоперационного периода.

На наш взгляд можно с уверенностью утверждать, что иммерсивные технологии играют ключевую роль в процессе предоперационного планирования и подготовки хирургической команды к предстоящему оперативному вмешательству. Построение мультидисциплинарной командой индивидуальной ТАМ пациента, а также использование ее с целью планирования (моделирования) оперативного вмешательства существенно повышает готовность хирургической бригады, что убедительно продемонстрировали результаты исследования.

Детальный анализ процесса планирования (моделирования) оперативных вмешательств и оценка влияния его результатов на динамику периоперационного периода позволили сформулировать ключевые требования к ТАМ, которые, несмотря на свою универсальность, имеют некоторые особенности, зависящие от специфики хирургической отрасли применения AR-технологии.

К наиболее очевидным требованиям следует отнести технические: достаточную яркость, контрастность и прозрачность модели с возможностью их регуляции в целях повышения качества ее визуализации, а также интуитивно понятную цветовую гамму обозначения ключевых анатомических образований.

Не вызывает сомнения, что ТАМ пациента должна в полной мере отражать особенности голотопии, синтопии и скелетотопии зоны предстоящего оперативного вмешательства.

Индивидуальная ТАМ, по нашему убеждению, основанном на результатах критического анализа опыта практического применения AR-технологии и понимании фундаментальных представлений нейрофизиологии, должна в полной мере и максимально точно отражать топографо-анатомические взаимоотношения в зоне планируемой операции. Необходимо особенно подчеркнуть, что речь идет не столько об анатомических аспектах клинической ситуации, способных сформировать у хирургической команды лишь мультипликационные впечатления и мало обоснованные иллюзии о высокой степени готовности к оперативному вмешательству, сколько о деталях топографической анатомии, ясное понимание которых может надежно обеспечить достаточную безопасность операции. В этой связи представления некоторых хирургических команд о необходимости избирательного моделирования наиболее значимых анатомических

структур зоны операции нам представляются ошибочными [8–10].

Обязательным требованием является нанесение на модель так называемых «критических точек» (зоны опухолевой инвазии, близкого расположения жизненно важных анатомических структур и т. д.), детальное представление о которых потенциально может не только предупредить возникновение неблагоприятных интраоперационных событий и обеспечить безопасность, но и существенно повысить эффективность операции в целом (см. рис. 5).

Изложенное требование к ТАМ является одним из наиболее принципиальных с точки зрения планирования оперативного вмешательства как в висцеральной хирургии, так и при удалении инородных тел. В частности, сформированное в процессе предоперационного моделирования представление о критически важных деталях области оперативного вмешательства позволяет выбрать оптимальный (малотравматичный и безопасный) доступ к инородному телу (осколку).

В то же время в хирургии местнораспространенных опухолей органов живота и таза появляется возможность определить и нанести на персонализированную ТАМ планируемые периферические границы хирургической резекции, тем самым сформировать у хирургической команды виртуальное представление о необходимом оптимальном результате планируемого радикального оперативного вмешательства.

Одним из важных и нереализуемым в полной мере на практике требованием к качеству ТАМ пациента является не только возможность воспроизведения топографо-анатомических аспектов отдельных этапов операции, но и обеспечение этапности контроля соответствия хода оперативного вмешательства предоперационному плану. Представляется обоснованным утверждать, что максимально детально построенная ТАМ и качественно спланированное на ее основе оперативное вмешательство создают предпосылки для разработки принципиально важной инновационной технологии виртуальной оценки качества выполненного оперативного вмешательства, которая имеет четко очерченное нейрофизиологическое обоснование и в перспективе может быть разработана на основе эффективных инженерных решений.

Необходимо отметить важную организационную деталь – в настоящее время ДР применяется главным образом в плановой хирургии, что обусловлено значительными временными затратами на сегментацию и формирование ТАМ пациента. В этом случае только новые эффективные инженерные решения в виде создания инструментов автоматической сегментации позволят транслировать AR-технологии в экстренную хирургию и, что особенно важно

в современных реалиях, в хирургию поврежденных мирного и военного времени.

Несмотря на очевидные преимущества использования AR-технологии в предоперационном периоде и перспективы, связанные с ее совершенствованием, результаты, полученные в исследовании, свидетельствуют о недостаточной эффективности применения ДР в целях интраоперационной навигации в висцеральной хирургии живота и таза.

Значительное отклонение ТАМ позволяет обоснованно утверждать, что в текущем формате применение ДР, исходя из нашего опыта, пока полноценно не может рассматриваться в качестве технологии, обеспечивающей повышение безопасности оперативных вмешательств на органах брюшной полости и малого таза, и не находит свое заслуженное место в перечне методик, применяемых обоснованно, безопасно и с достаточной степенью надежности.

Навигационный потенциал ДР оказался существенно выше при хирургическом лечении пациентов с инородными телами (осколками) конечностей. Продемонстрированные в исследовании статистически значимые различия показателя TRE обусловлены в первую очередь принципиальными отличиями не только топографо-анатомических особенностей областей операции, но также различной динамикой их изменений в ходе вмешательства. Значительная подвижность органов брюшной полости и малого таза, необходимость их ротации (перемещения) закономерно обуславливают кардинальное изменение определенных в предоперационном периоде координат, что в текущем периоде развития AR-технологии существенно ограничивает ее навигационные возможности в данной отрасли хирургии. В этом контексте становится обоснованной целесообразность применения ДР при удалении инородных тел (осколков) конечностей, когда вследствие большей статичности топографо-анатомических взаимоотношений в зоне операции и незначительной динамики интраоперационной ситуации создаются условия для полноценной реализации навигационного потенциала технологии. Прямым свидетельством верности данного тезиса является существенное повышение точности сопоставления ТАМ с зоной оперативного вмешательства и ее удержания в ходе операции при использовании разработанной в клинике методики док-шины, которая минимизирует суммарное отклонение ТАМ (см. рис. 5).

Заслуживают внимания сравнительный анализ результатов субъективной оценки степени принятия и удовлетворенности применением хирургами различной квалификации AR-технологии, а также ее эргономические и экологические аспекты.

Все участники проведенных опросов, вне зависимости от их профессионального стажа, позитивно и на высоком уровне воспринимают идеологию применения ДР в изучаемых отраслях хирургии. В то же время более опытные хирурги достоверно выше оценивают роль ДР в планировании (моделировании) операции и в подготовке бригады к предстоящему вмешательству. Полученный результат, вероятно, обусловлен большей глубиной осознания влияния организационных аспектов предоперационной подготовки на безопасность оперативного вмешательства в целом. Менее опытные специалисты отметили более высокую общую удовлетворенность от применения ДР в ходе оперативного вмешательства, что во многом связано, как показали результаты послеоперационных интервью, с ярким эмоциональным восприятием всех этапов применения ДР в периоперационном периоде, без достаточной акцентуации на практически значимых деталях данного процесса.

Отдельного обсуждения заслуживает анализ эргономических аспектов интраоперационного применения ДР, которые опытные хирурги, в отличие от их ассистентов, оценили значительно и достоверно более негативно. Широко применяемые очки дополненной реальности Microsoft HoloLens II обладают рядом конструктивных особенностей и соответственно недостатками, которые во многом предопределили негативную оценку ведущих хирургов операционных бригад нашей клиники. В их числе следует отметить громоздкость, что ведет к быстрой утомляемости оператора, недостаточную прозрачность и бликование стекол в условиях искусственного освещения операционного поля, что не только ухудшает его визуализацию, но и значительно сокращает поля зрения, а также ухудшает коммуникацию между участниками хирургической бригады.

Наиболее значимым недостатком обсуждаемого типа AR-очков является отсутствие возможности одновременного использования налобного осветителя и бинокулярной оптики, которые являются важной составляющей системы обеспечения качественной визуализации и интраоперационной безопасности в целом. Изложенные обстоятельства отрицательно влияют на эргономику работы ведущего хирурга бригады и изменяют динамику длительных и энергозатратных оперативных вмешательств на органах брюшной полости и малого таза.

Таким образом, комплексная оценка позитивных и негативных аспектов применения ДР в целях интраоперационной навигации позволяет утверждать, что использование очков Microsoft HoloLens II в существующем варианте в висцеральной хирургии органов живота и таза нецелесообразно. Очевидна необходимость разработки новых малогабаритных эргономичных систем

визуализации на основе ДР, которые могут быть интегрированы с носимыми источниками света (налобными осветителями) и оптикой (бинокулярными линзами) и не будут отрицательно влиять на динамику оперативного вмешательства. В случае успешного решения этой сложной, технической задачи, вероятно, появятся достаточно обоснованные предпосылки для более надежного внедрения ДР в хирургию органов брюшной полости и малого таза.

В то же время эффективность применения очков ДР при оперативных вмешательствах по поводу инородных тел (осколков) конечностей оценивается достаточно позитивно. Это обусловлено значительной статичностью топографо-анатомических взаимоотношений в зоне операции, особенно в условиях применения технологии док-шины, незначительной продолжительностью и низкой энергозатратностью оперативного вмешательства. В данных условиях недостатки AR-технологии и конструктивные особенности используемых очков дополненной реальности Microsoft HoloLens II в известной степени нивелируются и не оказывают значительного негативного влияния на результаты применения ДР в данной отрасли хирургии. Также нужно отметить, что благодаря AR-технологии при удалении инородных тел мы смогли значительно сократить использование или совсем исключить рентгенологический контроль, тем самым значительно снизить лучевую нагрузку на пациента и персонал, что также внесло значительный вклад в повышение безопасности данного вида оперативных вмешательств.

Принимая во внимание выявленные при анализе полученных результатов недостатки, можно утверждать, что ДР в некоторых аспектах своего применения в различных отраслях хирургии является недостаточно зрелой, но перспективной технологией. Совершенствование тактических подходов к ее использованию и поиск эффективных инженерных решений актуальных проблем периоперационного применения потенциально способны повысить ее эффективность в качестве инструмента обеспечения безопасности хирургических вмешательств на конечностях, органах живота, таза и груди.

## Заключение

Подводя итоги исследования, необходимо сделать несколько заключений.

Основной целью применения ДР в изучаемых отраслях хирургии является повышение эффективности и безопасности оперативных вмешательств в первую очередь за счет персонализации выбора хирургических подходов.

Технология ДР может применяться с различной эффективностью на всех этапах периоперационного периода в хирургии груди, живота,

таза и конечностей. Характеризуется высокой степенью принятия хирургами различной квалификации.

Можно с уверенностью констатировать высокую эффективность AR-технологии при планировании (моделировании) оперативных вмешательств на органах груди, живота и таза, а также по поводу инородных тел (осколков) конечностей.

Необходимо признать, что в существующем формате применение ДР с целью навигации в висцеральной хирургии, при заболеваниях органов живота и таза, не может быть признано целесообразным в связи с ее недостаточной точностью, значительным несоответствием динамике оперативного вмешательства и неудовлетворительными эргономическими показателями. При этом критический анализ литературы, собственного опыта и результатов исследования возможностей применения ДР в различных отраслях висцеральной хирургии позволяет со сдержанным оптимизмом оценивать среднесрочные перспективы ее эффективного внедрения в практику для интраоперационной навигации и обеспечения безопасности хирургического вмешательства на органах брюшной полости и таза.

Очевидно, что в этой связи необходимы поиск инженерных решений проблемы эргономики и совершенствование AR-очков, дальнейшее развитие технологии сопоставления ТАМ и зоны оперативного вмешательства, повышение скорости и устойчивости управления моделью, в том числе скорости привязки ТАМ к объекту в условиях динамично изменяющейся интраоперационной обстановки. Успешное решение данных задач позволит обоснованно рассчитывать на повышение навигационного потенциала AR-технологии в висцеральной хирургии.

В то же время дополненная реальность убедительно продемонстрировала высокую эффективность при удалении инородных тел (осколков) конечностей за счет точного интраоперационного сопоставления ТАМ. В связи с этим, AR-технология может рассматриваться в качестве надежного и, что принципиально важно, самостоятельного инструмента навигации в данной отрасли хирургии.

Таким образом, всесторонний анализ различных аспектов периоперационного применения AR-технологий в хирургии органов живота, таза, при оперативных вмешательствах по поводу инородных тел конечностей, позволяет обоснованно констатировать целесообразность формулировки мультимодальной концепции планирования и периоперационного обеспечения безопасности хирургического вмешательства на основе дополненной реальности.

Практическая реализация данной концепции должна основываться на представлении о ТАМ не столько как об объемной 3D-модели области

предстоящего оперативного вмешательства, сколько как о персонафицированном клиническом топографо-анатомическом виртуальном атласе пациента, определяющем основополагающие принципы идеологии его применения в периоперационном периоде.

При этом только комбинированное с интраоперационной навигацией применение персонафицированного клинического топографо-анатомического виртуального атласа пациента, с учетом текущего состояния инженерной составляющей технологии и специфики ее практического интраоперационного применения, позволяет обоснованно рассчитывать на максимально возможную и полноценную реализацию потенциала AR-технологии в интересах обеспечения безопасности хирургических вмешательств и повышения их эффективности.

Перспективы применения ДР распространяются далеко за границы обсуждаемого контекста проблемы совершенствования иммерсивных технологий. В первую очередь это касается использования ДР для поддержки принятия решений в особых медико-тактических условиях, в том числе разработки и внедрения концепции цифрового двойника человека («аватара») в целях совершенствования системы оказания медицинской помощи в условиях ограниченных ресурсов, а также интеграции искусственного интеллекта и AR-технологий. Дальнейшее развитие ДР позволит разработать высокоэффективные подходы к медицинскому образованию и подготовке хирургов, а также будет способствовать развитию научных знаний в области анатомии и антропологии в качестве перспективного метода прижизненного изучения.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Соответствие нормам этики.** Исследование одобрено локальным этическим комитетом. Пациентами подписано информированное согласие на публикацию данных, полученных в результате исследований.

**Compliance with ethical principles.** The study was approved by the Local Ethics Committee. All patients signed informed consent for publication of data from the studies.

## Список литературы / References

1. Коновалов А.Н., Окишев Д.Н., Пилипенко Ю.В. и др. Дополненная реальность как метод нейронавигации при микрохирургическом лечении цереброваскулярной патологии: описание метода и опыта применения. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко.* 2025;89(1):37–45. DOI: 10.17116/neiro20258901137. [Konovalov A.N., Okishev D.N., Pilipenko Ju.V., et al. Dopolnennaja real'nost' kak metod nejronavigacii pri mikrohirurgicheskom lechenii cerebrovaskuljarnoj patologii: opisanie metoda i opyta primeneniya. *Zhurnal Voprosy Neurokhirurgii Imeni N.N. Burdenko.* 2025;89(1):37–45. DOI: 10.17116/neiro20258901137. (In Russ.)].
2. Коновалов А.Н., Пилипенко Ю.В., Окишев Д.Н. и др. Использование дополненной реальности как метода нейронавигации при выполнении экстра-интракраниального микроанастомоза. *Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал).* 2024;8(3):28–34. DOI: 10.17116/operhirurg2024803128. [Konovalov A.N., Pilipenko Ju.V., Okishev D.N., et al. Ispol'zovanie dopolnenoj real'nosti kak metoda nejronavigacii pri vypolnenii jekstra-intrakranial'nogo mikroanastomoza. *Operativnaya khirurgiya i klinicheskaya anatomiya.* 2024;8(3):28–34. DOI: 10.17116/operhirurg2024803128. (In Russ.)].
3. Chegini S., Edwards E., McGurk M., et al. Systematic review of techniques used to validate the registration of augmented-reality images using a head-mounted device to navigate surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2023;61(1):19–27. DOI: 10.1016/j.bjoms.2022.08.007.
4. Baashar Y., Alkaws G., Ahmad W.N.W, et al. Effectiveness of using augmented reality for training in the medical professions: meta-analysis. *JMIR Serious Games.* 2022;10(3):e32715. DOI: 10.2196/32715.
5. Гребеньков В.Г., Румянцев В.Н., Иванов В.М. и др. Опыт применения технологии дополненной реальности в хирургическом лечении больных первичными и рецидивными опухолями органов малого таза. *Вестник Российской военно-медицинской академии.* 2022;24(4):697–706. DOI: 10.17816/bmma112505. [Greb'nikov V.G., Rumjancev V.N., Ivanov V.M., et al. Opyt primeneniya tehnologii dopolnenoj real'nosti v hirurgicheskom lechenii bol'nyh pervichnymi i recidivnymi opuholjami organov malogo taza. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy.* 2022;24(4):697–706. DOI: 10.17816/bmma112505. (In Russ.)].
6. Агаханова М.Д., Гребеньков В.Г., Румянцев В.Н. и др. Опыт применения технологии дополненной реальности в хирургическом лечении больного с инкапсулированными металлическими инородными телами нижних конечностей. *Вестник Российской Военно-медицинской академии.* 2023;25(2):261–268. DOI: 10.17816/bmma321172. [Agahanova M.D., Greb'nikov V.G., Rumjancev V.N., et al. Opyt primeneniya tehnologii dopolnenoj real'nosti v hirurgicheskom lechenii bol'nogo s inkapsulirovannymi metallichesкими inородnymi telami nizhnih konechnostej. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy.* 2023;25(2):261–268. DOI: 10.17816/bmma321172. (In Russ.)].

7. Ivanov V.M., Krivtsov A.M., Strelkov S.V., et al. Practical application of augmented/mixed reality technologies in surgery of abdominal cancer patients. *Journal of Imaging*. 2022;8(7):1–16. DOI: 10.3390/jimaging8070183.
8. Dai J., Qi W., Qiu Z., Li C. The application and prospection of augmented reality in hepato-pancreato-biliary surgery. *Biosci Trends*. 2023; 17(3):193–202. DOI: 10.5582/bst.2023.01086.
9. Ma L., Huang T., Wang J., Liao H. Visualization, registration and tracking techniques for augmented reality guided surgery: a review. *Phys Med Biol*. 2023;68(4). DOI: 10.1088/1361-6560/acaf23.
10. Javaheri H., Ghamarnejad O., Lukowicz P., et al. Enhancing perioperative outcomes of pancreatic surgery with wearable augmented reality assistance system: a matched-pair analysis. *Ann. Surg. Open*. 2024;(4):e516. DOI: 10.1097/AS9.0000000000000516.

**Поступила 26.07.2025**

**Принята 01.08.2025**

**Опубликована 29.08.2025**

**Received 26.07.2025**

**Accepted 01.08.2025**

**Publication 29.08.2025**

## Авторы

**Суров Дмитрий Александрович** – д-р мед. наук, профессор, начальник кафедры военно-морской хирургии, Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации; Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи имени И. И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, Россия, sda120675@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4519-0018>

**Румянцев Валерий Николаевич** – канд. мед. наук, преподаватель кафедры военно-морской хирургии, Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, doctorelanmp@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7526-6282>

**Коржук Михаил Сергеевич** – д-р мед. наук, профессор, преподаватель кафедры военно-морской хирургии, Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, gensurg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4579-2027>

**Гаврилова Анна Леонидовна** – врач-рентгенолог, Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, gensurg@mail.ru

**Гребеньков Владимир Геннадьевич** – канд. мед. наук, преподаватель кафедры военно-морской хирургии, Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, grebenkov\_89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-002-7881-1714>

**Иванов Владимир Михайлович** – д-р физ.-мат. наук, профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия, voliva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8194-2718>

**Смирнов Антон Юрьевич** – программист, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия, ishunpo@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2440-2499>

**Климов Иван Максимович** – слушатель факультета подготовки врачей, Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, ivanklimov.1250@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9048-3319>

**Пономарев Александр Сергеевич** – слушатель факультета подготовки врачей, Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, i@aleksandr-pononarev.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9818-9636>

**Демко Андрей Евгеньевич** – д-р мед. наук, профессор, заместитель директора по науке, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи имени И. И. Джанелидзе; Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, demkoandrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5606-288X>

**Святненко Андрей Владимирович** – врач-хирург, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи имени И. И. Джанелидзе; Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, svyatnenkoandrei@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2603-9854>

**Точильников Григорий Викторович** – канд. мед. наук, Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия, gr75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4232-8170>

## Authors

**Surov Dmitry A.** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Naval Surgery, S. M. Kirov Military Medical Academy; Saint-Petersburg I. I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg, Russia, sda120675@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4519-0018>

**Rumyantsev Valery N.** – Candidate of Medical Sciences, Lecturer at the Department of Naval Surgery, S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia, doctorelanmp@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7526-6282>

**Korzhuik Mikhail S.** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Lecturer at the Department of Naval Surgery, S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia, gensurg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4579-2027>

**Gavrilova Anna L.** – Radiologist, S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia, gensurg@mail.ru

**Grebenkov Vladimir G.** – Candidate of Medical Sciences, Lecturer at the Department of Naval Surgery, S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia, grebenkov\_89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7881-1714>

**Ivanov Vladimir M.** – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia, voliva@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8194-2718>

**Smirnov Anton Yu.** – Programmer, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia, ishunpo@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2440-2499>

**Klimov Ivan M.** – Student at the Faculty of Medical Training, S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia, ivanklimov.1250@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9048-3319>

**Ponomarev Alexander S.** – Student at the Faculty of Medical Training, S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia, i@aleksandr-pononarev.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9818-9636>

**Demko Andrey E.** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Deputy Director for Science, Saint-Petersburg I. I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine; S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia, demkoandrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5606-288X>

**Svyatnenko Andrey V.** – Surgeon, Saint-Petersburg I. I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine; S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia, svyatnenkoandrei@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2603-9854>

**Tochilnikov Grigory V.** – Candidate of Medical Sciences, Petrov Research Institute of Oncology, St. Petersburg, Russia, gr75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4232-8170>