

Современные технологии визуализации и интраоперационной навигации  
в гепатопанкреатобилиарной хирургии  
Modern technologies of visualization and intraoperative navigation  
in hepatopancreatobiliary surgery

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

<https://doi.org/10.16931/1995-5464.2025-2-13-22>

## Применение технологии дополненной реальности в гепатопанкреатобилиарной хирургии

Панченков Д.Н., Григорьева Е.В., Лискевич Р.В. \*, Климов Д.Д., Абдулкеримов З.А.,  
Манчуров В.Н., Астахов Д.А., Тупикин К.А., Прохоренко Л.С., Балабеков А.Г.

ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России; 127006, г. Москва,  
ул. Долгоруковская, д. 4, Российская Федерация

**Цель.** Обобщение опыта применения технологии дополненной реальности в гепатопанкреатобилиарной хирургии.

**Материал и методы.** С ноября 2021 по январь 2024 г. с применением технологии дополненной реальности оперировали 43 пациентов. Объем операций: панкреатодуоденальная резекция, корпорокаудальная резекция поджелудочной железы, необратимая электропорация новообразований и удаление псевдокист поджелудочной железы, резекция общего желчного протока с формированием билиодигестивного анастомоза, атипичная резекция печени, правосторонняя гемигепатэктомия, трансартериальная химиоэмболизация артерий опухолей печени.

**Результаты.** Значимого увеличения продолжительности операций при использовании технологии дополненной реальности не отмечено. При выполнении мини-инвазивных вмешательств на печени технология дополненной реальности оказалась удобным инструментом навигации, способствующим сокращению продолжительности рентгеноскопии и общего времени операции. Анализ шкал Лайкерта, сформированных в качестве обратной связи интраоперационного применения метода хирургической бригадой, демонстрирует удобство применения технологии дополненной реальности для улучшения отображения и навигации.

**Заключение.** Дополненная реальность доказала свою эффективность, надежность и перспективность в качестве инструмента для применения в гепатопанкреатобилиарной хирургии. Однако для полной реализации ее потенциала требуются дальнейшие технологические усовершенствования. Повышение производительности систем дополненной реальности, включая их точность, стабильность и адаптивность к различным клиническим сценариям, позволит сделать их более надежными и универсальными при выполнении широкого спектра хирургических вмешательств.

**Ключевые слова:** смешанная реальность; дополненная реальность; гепатопанкреатобилиарная хирургия; трансартериальная химиоэмболизация; минимально инвазивная хирургия

**Ссылка для цитирования:** Панченков Д.Н., Григорьева Е.В., Лискевич Р.В., Климов Д.Д., Абдулкеримов З.А., Манчуров В.Н., Астахов Д.А., Тупикин К.А., Прохоренко Л.С., Балабеков А.Г. Применение технологии дополненной реальности в гепатопанкреатобилиарной хирургии. *Анналы хирургической гепатологии.* 2025; 30 (2): 13–22.  
<https://doi.org/10.16931/1995-5464.2025-2-13-22>

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Augmented reality technology in hepatopancreatobiliary surgery

Panchenkov D.N., Grigorieva E.V., Liskevich R.V. \*, Klimov D.D., Abdulkarimov Z.A.,  
Manchurov V.N., Astakhov D.A., Tupikin K.A., Prokhorenko L.S., Balabekov A.G.

Russian University of Medicine; 4, Dolgorukovskaya str., Moscow 127006, Russian Federation

**Aim.** To summarize the experience of applying augmented reality technology in hepatopancreatobiliary surgery.

**Materials and methods.** From November 2021 to January 2024, 43 patients underwent surgery using augmented reality technology. These procedures included pancreatoduodenectomy, distal pancreatectomy, irreversible electroporation of neoplasms, pancreatic pseudocyst removal, resection of the common bile duct with biliodigestive anastomosis formation, atypical liver resections, right hemihepatectomy, and transarterial chemoembolization of hepatic tumor arteries.

**Results.** The use of augmented reality technology showed no significant increase in operative time. In minimally invasive liver procedures, augmented reality proved to be a convenient navigation tool, contributing to reduced fluoroscopy duration and overall operative time. Analysis of Likert scales completed as feedback forms for intraoperative use by the surgical team demonstrated that augmented reality technology was convenient and beneficial for enhancing visualization and navigation.

**Conclusion.** Augmented reality has proven to be an effective, reliable, and promising tool for hepatopancreatobiliary surgery. However, further technological advancements are required to fully realize its potential. Enhancing the performance of augmented reality systems – including their accuracy, stability, and adaptability to various clinical scenarios – will make them more dependable and versatile for a wide range of surgical procedures.

**Keywords:** *mixed reality; augmented reality; hepatopancreatobiliary surgery; transarterial chemoembolization; minimally invasive surgery*

**For citation:** Panchenkov D.N., Grigorieva E.V., Liskevich R.V., Klimov D.D., Abdulkirimov Z.A., Manchurov V.N., Astakhov D.A., Tupikin K.A., Prokhorenko L.S., Balabekov A.G. Augmented reality technology in hepatopancreatobiliary surgery. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii = Annals of HPB surgery*. 2025; 30 (2): 13–22. <https://doi.org/10.16931/1995-5464.2025-2-13-22> (In Russian)

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

## ● Введение

В настоящее время медицинская отрасль, и в особенности хирургическая практика, демонстрирует устойчивую тенденцию к интеграции инновационных технологических решений, что, безусловно, трансформирует подходы к лечению пациентов. За последние десятилетия хирургические методы, применяемые в глобальной медицинской практике, претерпели существенные изменения. Во многом этому способствовало развитие технических решений, которые не только дают возможность сократить частоту послеоперационных осложнений, но и повышают общее качество медицинской помощи, расширяя границы выполнения сложных вмешательств при одновременном увеличении их безопасности. Важно подчеркнуть, что ключевым фактором успеха хирургических процедур остается тщательное предоперационное планирование, однако не менее значимым аспектом является сохранение четкого понимания анатомо-топографических особенностей пациента как на этапе подготовки, так и во время операции. Такие методы, как УЗИ, КТ и МРТ, традиционно служили источником вспомогательных данных для хирургов [1]. Однако интеграция двухмерных снимков с трехмерной средой при выполнении хирургического пособия нередко представляет существенную сложность, приводя к несогласованию между предоперационными планами и реальной операционной ситуацией. При использовании стандартных систем хирург вынужден постоянно переключать фокус внимания между зоной вмешательства и источниками вывода информации, что неизбежно увеличивает продолжительность процедуры. Кроме того, традиционные методы не обеспечивают точной навигации, позволяющей отслеживать положение инструментов в режиме реального времени. В то же время анатомические структуры часто перекрывают обзор целевых областей, что умень-

шает точность манипуляций и увеличивает риск ятрогенных повреждений.

В последние годы в хирургическом сообществе растет интерес к разработке минимально инвазивных и более интуитивных систем интраоперационной визуализации, направленных на повышение безопасности и доступности вмешательств [2]. Стоит отметить, что ограничения классических подходов могут быть успешно компенсированы за счет внедрения навигационных систем на основе дополненной реальности (ДР) [3–5]. Эти технологии, развитие которых является естественным ответом на запрос клиницистов в улучшении визуальной обратной связи, функционируют по принципам, схожим с виртуальной реальностью, но с определенным отличием – интеграцией цифровых объектов в физическое пространство [6]. Применение систем ДР возможно благодаря реализации последовательных этапов: инструментального обследования пациентов, сегментации и генерации трехмерных персонализированных анатомических моделей и совмещение их с реальным операционным полем. Ключевыми компонентами таких решений являются алгоритмы воссоздания объемных структур и пространственной привязки, в ряде случаев – мониторинга положения инструментов. ДР-технологии обеспечивают синхронизацию предоперационных планов с интраоперационной обстановкой, предоставляя хирургам динамическое руководство и актуальную информацию в режиме реального времени [7]. Наложение виртуальных изображений на анатомические ориентиры устраняет необходимость постоянного обращения операционной бригады к внешним дисплеям. Таким образом, ДР не только оптимизирует пространственную ориентацию, но и минимизирует когнитивную нагрузку на хирурга, сокращая вероятность ошибок, связанных с интерпретацией разрозненных данных. Кроме того, ДР-решения

демонстрируют потенциал в преодолении ограничений, связанных с отображением скрытых структур. Например, диссекция в анатомических областях, богатых сосудистыми элементами и нервами, мобилизация патологических образований в глубине паренхиматозных органов могут стать более безопасными благодаря применению системы ДР. Технология позволяет “просвечивать” анатомические слои, проецируя целевые зоны в поле зрения хирурга. Это особенно актуально в нейрохирургии [8, 9], ортопедии [10], лапароскопической хирургии [11], хирургии печени и поджелудочной железы (ПЖ) [12–14], в которых обилие критически важных анатомических структур диктует сугубую необходимость точного позиционирования инструментов и понимания синтопии в зоне интереса. Интерактивное управление анатомическими моделями с помощью специализированных гарнитур открывает новые горизонты не только для интраоперационной навигации, но и для образовательных программ. Это позволяет менее опытным специалистам выполнять более сложные манипуляции под контролем виртуальных “подсказок”, фиксировать этапы операции и ускорять процесс совершенствования приобретаемых навыков за счет последующего анализа полученных данных.

В литературе последних 30 лет, посвященной применению ДР в хирургии, одной из основных точек интеграции технологии выступает гепатопанкреатобилиарная хирургия (ГПБХ). В последних 300 связанных статьях и обзорах был проанализирован пул ключевых слов с высокой частотой упоминания и проведена оценка их взаимосвязи. Стало очевидно, что специалисты в ГПБХ уделяют особое внимание ДР в хирургии печени, влиянию технологии на визуализацию и навигацию, особенно в лапароскопической хирургии [15].

Современные хирургические навигационные системы интегрируют методы отображения, стереотаксические алгоритмы и клинический опыт специалистов [16]. Впервые 3D-изображения в ГПБХ применили J. Marsescaux и соавт. в 1988 г.: специалисты смоделировали простую резекцию печени, используя данные Национальной медицинской библиотеки Франции, чем заложили фундамент применению технологии [17, 18]. Ощутимый прорыв произошел в 2004 г. с разработкой системы дополненной реальности Projected Augmented Reality, воспроизводящей 3D-модель печени с опухолью на самом органе во время проведения ее микроволновой абляции. Точность позиционирования иглы возросла до 1,13 мм, что уменьшило риск при пункции [19]. Позже метод был усовершенствован для радиочастотной абляции и достигнуты сопоставимые результаты [20].

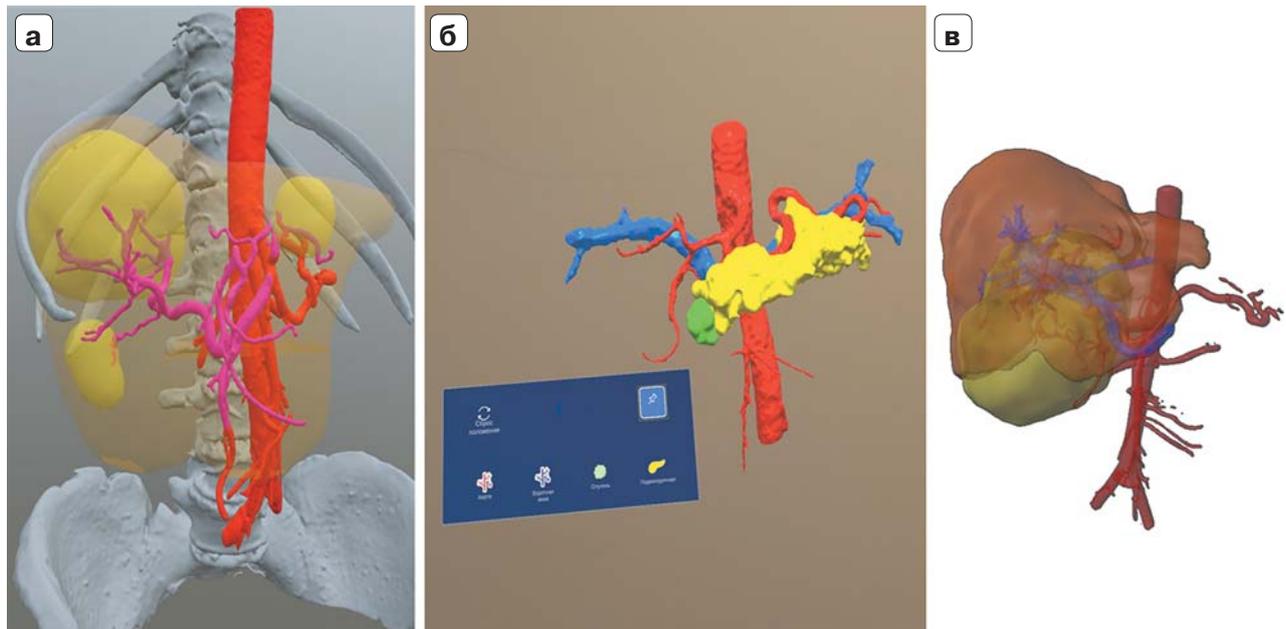
В 2009 г. впервые применили ДР в билиарной хирургии: холангиограмму проецировали на брюшную стенку для идентификации желчных протоков при лапароскопической холецистэктомии [21]. Однако ранние проекционные системы страдали от задержек, низкой интерактивности и искажений цвета. Настоящий всплеск интереса к технологии произошел с выходом на рынок в 2016 г. одного из наиболее успешных программно-аппаратных решений в области ДР – очков дополненной реальности Microsoft HoloLens. С этого времени в литературе, посвященной применению ДР в ГПБХ, отмечена тенденция к смещению акцента с разрозненных сообщений об успешном интраоперационном воспроизведении виртуального контента в среде ДР к систематизации данных.

Учитывая потенциал технологии ДР для трансформации хирургической практики, авторами был проведен детальный анализ существующего клинического опыта внедрения ДР с последующей апробацией в условиях реальных оперативных вмешательств. Несколько лет назад коллектив представил первый опыт применения технологии ДР, в котором продемонстрировал возможность использования среды ДР при лапароскопических операциях на органах гепатопанкреатодуоденальной зоны (ГПДЗ) [22]. За 2 года был накоплен определенный пул данных, который подтолкнул авторов к подведению промежуточных итогов и началу исследования.

**Цель работы** – обобщение опыта применения технологии дополненной реальности в гепатопанкреатобилиарной хирургии.

## ● **Материал и методы**

С ноября 2021 по январь 2024 г. с применением технологии ДР на базе Университетской клиники ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России оперировали 43 пациентов с заболеваниями органов ГПДЗ. Выполняли операции различного объема. Панкреатодуоденальная резекция выполнена 10 больным раком головки ПЖ и дистального отдела общего желчного протока (ОЖП), из них 8 вмешательств выполнили лапароскопически. Семерым пациентам выполнили лапароскопическую корпорокаудальную резекцию ПЖ, 3 – необратимую электропорацию злокачественных новообразований ПЖ, в 5 наблюдениях выполнили удаление псевдокиста ПЖ, в 3 – резекцию ОЖП с формированием билиодигестивного анастомоза. У 5 пациентов объем хирургического пособия заключался в атипичной резекции печени, у 2 – в правосторонней гемигепатэктомии, 8 пациентам была проведена трансартериальная химиоэмболизация (ТАХЭ) артерий, снабжающих кровью опухоли печени. Большинство операций выполняли лапароскопически. Без учета



**Рис. 1.** Примеры использованных в работе 3D-моделей: **а** – объемная модель печени с метастазами колоректального рака; **б** – объемная модель ПЖ с опухолью головки; **в** – объемная модель печени с кистой больших размеров.

**Fig. 1.** Examples of 3D models used in the study: **a** – volumetric model of the liver with colorectal cancer metastases; **б** – volumetric model of the pancreatic head tumor; **в** – volumetric model of the liver with a large cyst.

мини-инвазивных вмешательств доля лапароскопических пособий составила 78%. Техника проведения операций во всех наблюдениях не выходила за рамки общепризнанных подходов.

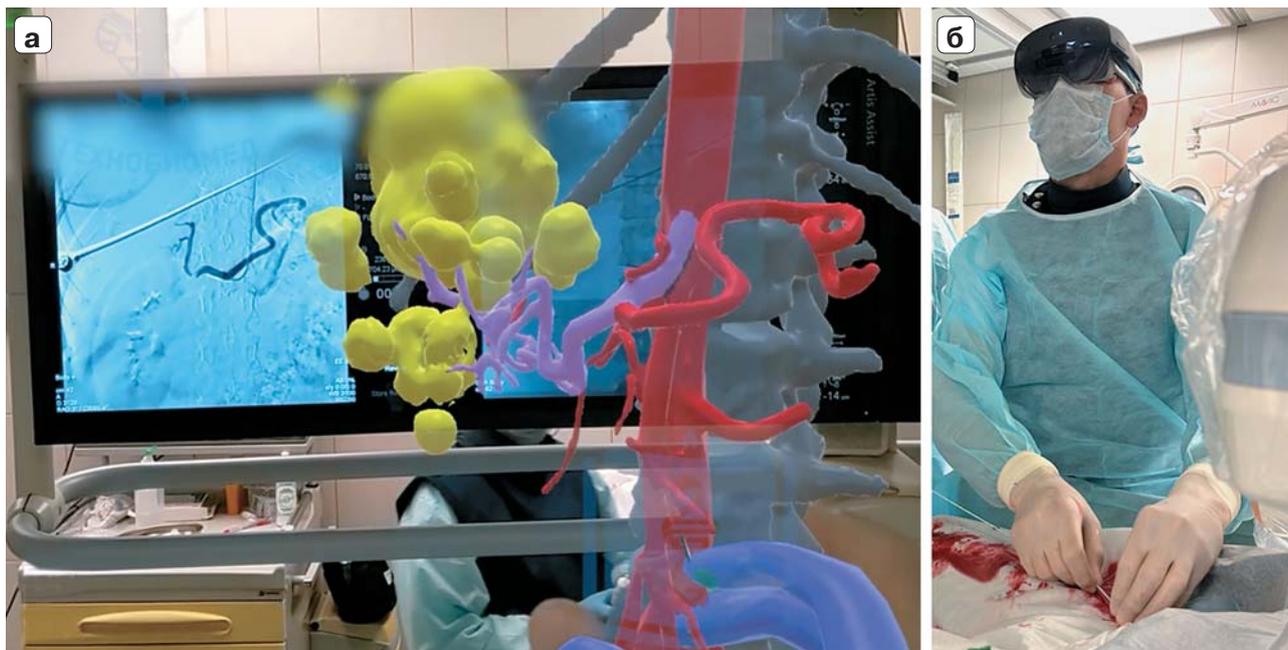
Разработанный и исследуемый алгоритм применения технологии ДР предполагает реализацию 3 основных этапов. Первым этапом является построение 3D-модели. За основу берут DICOM-файлы МСКТ с разными фазами контрастного усиления. Это необходимо для четкого отображения патологического процесса и синтопии интересующих анатомических структур. Проводят сегментацию с получением STL-файла (рис. 1).

Второй этап включает предоперационное планирование с использованием построенной модели. Детальное изучение трехмерной модели позволяет оценить все aberrантные структуры и нюансы строения интересующей анатомической зоны, взвесить риск и подобрать оптимальные подходы к реализации этапов оперативного пособия. Именно возможность оценить индивидуальные особенности строения ГПДЗ пациента на предоперационном этапе позволяет, следуя принципам персонифицированной медицины, наметить наиболее приемлемые варианты хирургической помощи в каждом клиническом наблюдении. К примеру, оценка всего артериального русла в зоне вмешательства при выполнении ТАХЭ (брюшная аорта, чревный ствол, печеночные артерии и их ветви) дает возможность четко выделить артериальные ветви, снабжающие кровью опухолевые узлы, и оценить

особенности анатомии (ангуляцию, извитость, особенности ветвления, калибры) артерий на пути к целевым стволам. В свою очередь это позволяет выбрать артериальный доступ и подобрать инструментарий, наилучшим образом подходящий для выполнения вмешательства пациенту. В этом случае польза от предоперационного анализа модели может выражаться в уменьшении числа ангиографий, продолжительности вмешательства, лучевой нагрузки и объема вводимого контрастного препарата.

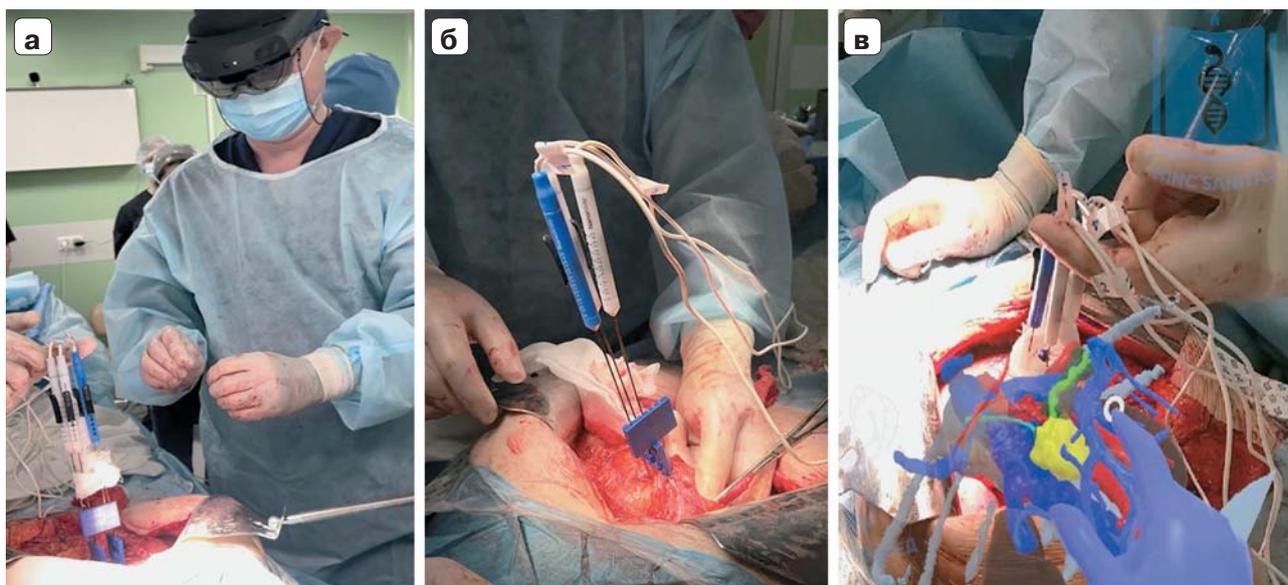
Третий и основной этап – выполнение вмешательства с ДР-ассистенцией. Для этого модель загружают в очки ДР и снабжают виртуальным интерфейсом для управления моделью (включение/выключение видимости отдельных органов, опухолевых узлов, трубчатых структур, изменение их прозрачности, управление положением модели, ее масштабированием и пр.). Во время вмешательства оператор, надев гарнитуру ДР, имеет возможность свободно располагать и вращать модель в любом месте обозримого пространства, взаимодействуя с ней интуитивно понятными жестами рук, не нарушая принципов асептики (рис. 2, 3).

Для интраоперационного применения технологии ДР нет необходимости в получении доскональных знаний в области биоинженерии или 3D-дизайна. Процесс сегментации DICOM-файлов, загрузки модели в среду разрабатываемого ПО и начала ее использования осуществим с привлечением врачей, прошедших короткое обучение, и занимает в среднем порядка полчаса.



**Рис. 2.** Возможности ДР в операционной: **а** – вид от первого лица, записанный с ДР-очков во время ТАХЭ, оператор удобно расположил модель в пространстве между собой и рабочим экраном ангиографа, имея возможность в режиме реального времени сопоставлять ангиографическое изображение с моделью; **б** – оператор манипулирует инструментами в привычной манере, не снимая очков ДР.

**Fig. 2.** Augmented Reality (AR) capabilities in the operating room: **a** – first-person view recorded from AR glasses during transarterial chemoembolization; the operator conveniently positioned the model in the space between themselves and the angiograph monitor, which allowed for real-time comparison of the angiographic image with the 3D model; **b** – the operator manipulates instruments in the usual manner without removing the AR glasses.



**Рис. 3.** Применение технологии ДР при выполнении необратимой электропорации опухоли ПЖ: **а** – хирург жестами позиционирует виртуальную модель в среде дополненной реальности; **б** – процедура необратимой электропорации опухоли ПЖ, электроды позиционированы с применением ДР-навигации; **в** – вид от первого лица, выполнено совмещение 3D-модели с интраоперационной картиной.

**Fig. 3.** Use of augmented reality technology during irreversible electroporation of a pancreatic tumor: **a** – the surgeon positions the virtual model in the augmented reality environment using gestures; **b** – irreversible electroporation of the pancreatic tumor, electrodes positioned with AR navigation; **b** – first-person view, the 3D model is aligned with the intraoperative image.

## ● Результаты и обсуждение

В последние десятилетия в хирургической практике получили широкое распространение методы, ориентированные на уменьшение операционной травмы. Дополненная реальность подразумевает наложение цифровых информационных слоев на физическое пространство и представляет собой инновационный инструмент, расширяющий возможности отображения биомедицинских данных.

Интраоперационное воспроизведение объемных моделей предполагало увеличение временных затрат на подготовительные этапы, такие как включение смарт-очков, корректировка масштаба виртуального объекта и его интеграция в операционное поле. Однако, как показала практика, продолжительность этих процедур не превышала 10–15 мин и не оказывала значимого влияния на общую продолжительность вмешательства. Следует отметить, что интуитивно понятная среда разрабатываемого программного обеспечения, а также простота и воспроизводимость жестов управления в совокупности приводили к тому, что оператор-хирург стремительно осваивал навыки использования технологии. Уже начиная со второго применения отмечали четкую тенденцию к сокращению описываемого временного интервала. В хирургических вмешательствах лапаротомным доступом преследовали цель уменьшить погрешности сопоставления виртуальной модели и реальной интраоперационной картины и зачастую применяли масштаб, соответствующий реальным размерам анатомических структур. Это сокращало число подходов для пространственной регистрации модели и ускоряло процесс ее совмещения с операционным полем.

Перспективным представляется применение технологии ДР в мини-инвазивных вмешательствах. Эндоваскулярные вмешательства на опухолевых артериях занимают заметное место в комплексном лечении пациентов с первичными и метастатическими опухолевыми поражениями печени [23–25]. Наиболее распространенной эндоваскулярной операцией при опухолях печени является ТАХЭ опухолевых артерий. Однако отображение опухолевых артерий при традиционной ангиографии сопряжено с определенными трудностями. Не все опухоли имеют четко определяемый сосудистый бассейн, и вы-

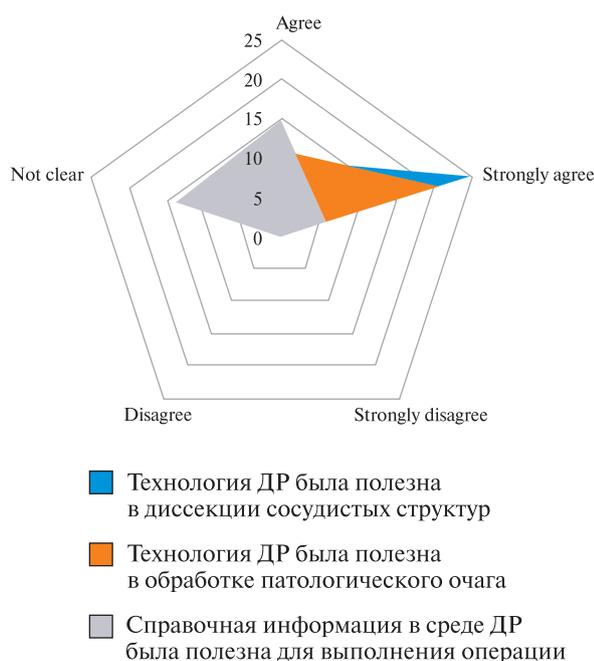
делить целевую артериальную ветвь или ветви для суперселективного вмешательства бывает достаточно сложно. Интраоперационная навигация, основанная на цифровой субтракционной ангиографии артерий печени, в свою очередь, может быть затруднена как исходной сложностью и (или) вариантностью артериальной анатомии пациента, так и усложнением ангиоархитектоники печени на фоне неоангиогенеза. Применение традиционных эндоваскулярных навигационных ассистирующих алгоритмов типа Roadmap на артериях печени весьма ограничено дыхательными артефактами. Во время исследования была сформирована выборка из 24 пациентов, из которых у 16 ТАХЭ выполняли стандартным способом с использованием только ангиографической навигации и у 8 – с использованием технологии ДР. Отметим тенденцию к уменьшению продолжительности операции и продолжительности рентгеноскопии в группе ДР (таблица), однако наблюдаемые различия не были статистически значимы, что может быть обусловлено малым размером выборки.

Принятие интраоперационных решений, связанных с идентификацией анатомических структур и оценкой операционной среды, требует от хирургов комплексного задействования сенсорно-перцептивных способностей и пространственного анализа. Однако в настоящее время не разработано стандартизированных методов количественной оценки эффективности ДР-платформ, включая оценку отображения двумерных и объемных данных в среде ДР. Разрозненность групп пациентов, лечение которых проводили с применением ДР-технологий, широкий спектр нозологий и хирургических подходов, постоянное совершенствование и выпуск новых версий программного обеспечения не позволяют провести статистический анализ с приемлемым порогом достоверности. На первый план выходит оценка шкал Лайкерта, сформированных в качестве обратной связи интраоперационного использования технологии хирургической бригадой. Анализ полученных данных демонстрирует удобство применения ДР по всем ключевым показателям (рис. 4).

Основным ограничением применения ДР в хирургии остается недостаточная прецизионность систем. Помимо субъективной визуальной

**Таблица.** Влияние технологии дополненной реальности на продолжительность ТАХЭ  
**Table.** Effect of augmented reality technology on the duration of transarterial chemoembolization

Параметр	Продолжительность, М ± SD (95% ДИ)		p
	стандартная ТАХЭ	ТАХЭ с ДР	
Операция, мин	100,8 ± 45,1 (76,8–124,7)	95,0 ± 28,9 (70,8–119,2)	0,74
Рентгеноскопия, с	67,4 ± 31,7 (49,8–85)	61,5 ± 21,9 (43,2–79,8)	0,64



**Рис. 4.** Диаграмма. Результаты оценки интраоперационного применения ДР-технологии по шкалам Лайкерта.

**Fig. 4.** Diagram. Results of the intraoperative assessment of AR technology using Likert scales.

интерпретации, современные методы не позволяют количественно оценить точность пространственного совмещения виртуальных объектов с анатомическими структурами или прогнозировать величину погрешности. Эта проблема обусловлена многокомпонентностью ДР-платформ, в которых каждый элемент (сенсоры, алгоритмы трекинга, интерфейсы) вносит вклад в совокупную неопределенность. Отдельным препятствием является несоответствие между виртуальными моделями и биомеханическим поведением органов. В отличие от жестких структур (кости, связочный аппарат), паренхиматозные органы подвержены динамической деформации вследствие респираторных движений, пульсовой волны, инсuffляции газа при лапароскопии, механического воздействия на ткани инструментами и т.д. [26]. Такая пластичность нарушает стабильность пространственной регистрации ДР-моделей.

Несмотря на это, комбинация предоперационного планирования с интраоперационным отображением в реальном времени остается перспективным направлением для минимизации инвазивности. Интеграция ДР с дополнительными технологиями (навигационными сенсорами, интраоперационной томографией, машинным обучением и др.) способна нивелировать существующие технические и клинические ограничения. К примеру, искусственный интеллект (ИИ), в частности методы машинного обучения, способны существенно оптимизировать функ-

циональность систем ДР путем внедрения прогнозирования динамики движений и моделирования эластичных деформаций биологических тканей. Применение ИИ в перспективе может позволить автоматизировать процессы интеграции и сопоставления объемных моделей, увеличивая точность и уменьшая сложность настройки ДР-систем. ДР формирует новую парадигму интраоперационной визуализации, однако ее внедрение сталкивается с некоторой инертностью медицинского сообщества. Причины замедленной адаптации остаются спорными: потенциальными факторами выступают консерватизм клинических протоколов, регуляторные сложности сертификации или когнитивная перегрузка, связанная с освоением интерфейсов, противоречащих естественным паттернам восприятия [27].

### ● Заключение

Для успешного внедрения ДР-технологий в клиническую практику требуется тесное взаимодействие исследователей, технических и медицинских специалистов. Такое сотрудничество позволит объединить экспертные знания, технические ресурсы и практический опыт, что является ключевым условием для перехода ДР-навигационных систем из исследовательских лабораторий в операционные залы. Эта технология демонстрирует эффективность, удобство применения и определенную пользу. Особенно перспективным выглядит интеграция среды ДР в мини-инвазивные вмешательства на органах ГПДЗ. Однако для проведения статистического анализа с приемлемым уровнем достоверности необходимо продолжить накопление данных.

В настоящее время существует большой потенциал для проведения будущих исследований. Необходима разработка стандартизованных подходов к валидации метода, формирование метрических показателей интерпретации эффективности применения технологии с привлечением широкой когорты исследователей (технических специалистов, студентов-ординаторов, хирургов). Важно помнить, что те же пространственные взаимоотношения между виртуальным контентом и реальным операционным полем, влияние цифровой модели на восприятие глубины во многом субъективны, зависят от опыта, уровня знаний, владения хирургическими навыками, психологических особенностей пользователя. Поэтому неискаженное представление о пользе внедрения технологии ДР в хирургию возможно не только путем расширения областей интеграции и накопления опыта, но и увеличения группы заинтересованных специалистов.

Современные достижения в области компьютерных технологий, включая возможность обработки сложных массивов данных, открывают

перспективы к ускорению развития и внедрения ДР, преодолению трудностей адаптации статичных объемных моделей к изменчивым условиям операционного поля, автоматизации рутинных задач сегментации моделей и их пространственной ориентации.

#### Участие авторов

Панченков Д.Н. — концепция и общий план исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.

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

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

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

Абдулкеримов З.А. — концепция и общий план исследования, редактирование.

Манчуров В.Н. — написание текста, редактирование.

Астахов Д.А. — написание текста, редактирование.

Тупикин К.А. — сбор и обработка материала, написание текста.

Прохоренко Л.С. — сбор и обработка материала.

Балабеков А.Г. — написание текста, редактирование.

#### Authors contribution

Panchenkov D.N. — concept and general plan, editing, approval of the final version of the article.

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

Liskevich R.V. — collecting and processing of material, writing text.

Klimov D.D. — collecting and processing of material, writing text.

Abdulkerimov Z.A. — concept and general plan, editing.

Manchurov V.N. — writing text, editing.

Astakhov D.A. — writing text, editing.

Tupikin K.A. — collecting and processing of material, writing text.

Prokhorenko L.S. — collection and processing of material.

Balabekov A.G. — writing text, editing.

#### ● Список литературы [References]

1. Cleary K., Peters T.M. Image-guided interventions: technology review and clinical applications. *Annu Rev. Biomed. Eng.* 2010; 12: 119–142. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-070909-105249>
2. Mezger U., Jendrewski C., Bartels M. Navigation in surgery. *Langenbecks Arch. Surg.* 2013; 398 (4): 501–514. <https://doi.org/10.1007/s00423-013-1059-4>
3. Azuma R.T. A Survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments.* 1997; 6 (4): 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
4. Sielhorst T., Feuerstein M., Navab N. Advanced medical displays: a literature review of augmented reality. *J. Display*

*Technol.* 2008; 4 (4): 451–467.

<https://doi.org/10.1109/jdt.2008.2001575>

5. Kalkofen D., Mendez E., Schmalstieg D. Comprehensible visualization for augmented reality. *IEEE Trans. Vis. Comp. Graph.* 2009; 15 (2): 193–204. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2008.96>
6. Marescaux J., Clément J.M., Tassetti V., Koehl C., Cotin S., Russier Y., Mutter D., Delingette H., Ayache N. Virtual reality applied to hepatic surgery simulation: the next revolution. *Ann. Surg.* 1998; 228 (5): 627–634. <https://doi.org/10.1097/00000658-199811000-00001>
7. Wang J., Suenaga H., Liao H., Hoshi K., Yang L., Kobayashi E., Sakuma I. Real-time computer-generated integral imaging and 3D image calibration for augmented reality surgical navigation. *Comp. Med. Imag. Graph.* 2015; 40 (40): 147–159. <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2014.11.003>
8. Tagaytay R., Kelemen A., Sik-Lanyi C. Augmented reality in neurosurgery. *Arch. Med. Sci.* 2018; 14 (3): 572–578. <https://doi.org/10.5114/aoms.2016.58690>
9. Shirai R., Xiaoshuai C., Sase K., Komizunai Sh., Tsujita T., Konno A. AR brain-shift display for computer-assisted neurosurgery. *58th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE).* 2019: 1113–1118. <https://doi.org/10.23919/sice.2019.8859884>
10. Zhang X., Fan Z., Wang J., Liao H. 3D Augmented reality based orthopaedic interventions. *Comp. Radiol. Orthopaedic Intervent.* 2016: 71–90. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23482-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23482-3_4)
11. Bernhardt S., Nicolau S.A., Soler L., Doignon C. The status of augmented reality in laparoscopic surgery as of 2016. *Med. Image Anal.* 2017; 37: 66–90. <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.01.007>
12. Tang R., Ma L.F., Rong Z.X., Li M.D., Zeng J.P., Wang X.D., Liao H.E., Dong J.H. Augmented reality technology for preoperative planning and intraoperative navigation during hepatobiliary surgery: a review of current methods. *Hepatobiliary Pancreat. Dis. Int.* 2018; 17 (2): 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.hbpd.2018.02.002>
13. Zhang F., Zhang S., Zhong K., Yu L., Sun L.N. Design of navigation system for liver surgery guided by augmented reality. *IEEE Access.* 2020; 8: 126687–126699. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3008690>
14. Gavriilidis P., Edwin B., Pelanis E., Hidalgo E., deAngelis N., Memeo R., Aldrighetti L., Sutcliffe R.P. Navigated liver surgery: state of the art and future perspectives. *Hepatobiliary Pancreat. Dis. Int.* 2021; 21 (3): 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.hbpd.2021.09.002>
15. 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. <https://doi.org/10.5582/bst.2023.01086>
16. Ma C., Chen G., Zhang X., Ning G., Liao H. Moving-tolerant augmented reality surgical navigation system using auto-stereoscopic three-dimensional image overlay. *IEEE J. Biomed. Health Inform.* 2019; 23 (6): 2483–2493. <https://doi.org/10.1109/jbhi.2018.2885378>
17. Marescaux J., Clément J.M., Tassetti V., Koehl C., Cotin S., Russier Y., Mutter D., Delingette H., Ayache N. Virtual reality applied to hepatic surgery simulation: the next revolution. *Ann. Surg.* 1998; 228 (5): 627–634. <https://doi.org/10.1097/00000658-199811000-00001>
18. Krummel T.M. Surgical simulation and virtual reality: the coming revolution. *Ann. Surg.* 1998; 228 (5): 635–637. <https://doi.org/10.1097/00000658-199811000-00002>

19. Liao H., Hata N., Nakajima S., Iwahara M., Sakuma I., Dohi T. Surgical navigation by autostereoscopic image overlay of integral videography. *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* 2004; 8 (2): 114–121. <https://doi.org/10.1109/titb.2004.826734>
20. Stüdeli T., Kalkofen D., Risholm P., Ali W., Freudenthal A., Samset E. Visualization tool for improved accuracy in needle placement during percutaneous radio-frequency ablation of liver tumors. *Medical Imaging 2008: Visualization, Image-Guided Procedures, and Modeling*. 2008; 6918: 116–127. <https://doi.org/10.1117/12.769399>
21. Sugimoto M., Yasuda H., Koda K., Suzuki M., Yamazaki M., Tezuka T., Kosugi C., Higuchi R., Watayo Y., Yagawa Y., Uemura S., Tsuchiya H., Azuma T. Image overlay navigation by markerless surface registration in gastrointestinal, hepatobiliary and pancreatic surgery. *J. Hepatobiliary Pancreat. Sci.* 2010; 17 (5): 629–636. <https://doi.org/10.1007/s00534-009-0199-y>
22. 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>  
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. 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)
23. Бредер В.В., Базин И.С., Балахнин П.В., Виршке Э.Р., Косырев В.Ю., Ледин Е.В., Медведева Б.М., Моисеенко Ф.В., Мороз Е.А., Петкау В.В., Покатаев И.А. Злокачественные опухоли печени и желчевыводящей системы. Практические рекомендации RUSSCO, часть 1. Злокачественные опухоли. 2023; 13 (3s2–1): 494–538. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2023-13-3s2-1-494-538>
- Breder V.V., Bazin I.S., Balakhnin P.V., Virshke E.R., Kosyrev V. Yu., Ledin E.V., Medvedeva B.M., Moiseenko F.V., Moroz E.A., Petkau V.V., Pokataev I.A. Malignant tumors of the liver and biliary tract. Practical recommendations by Russian Society of Clinical Oncology (RUSSCO), Part 1. *Malignant tumours*. 2023; 13 (3s2–1): 494–538. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2023-13-3s2-1-494-538> (In Russian)
24. Ducreux M., Abou-Alfa G.K., Bekaii-Saab T., Berlin J., Cervantes A., de Baere T., Eng C., Galle P., Gill S., Gruenberger T., Haustermans K., Lamarca A., Laurent-Puig P., Llovet J.M., Lordick F., Macarulla T., Mukherji D., Muro K., Obermannova R., O'Connor J.M., O'Reilly E.M., Osterlund P., Philip P., Prager G., Ruiz-Garcia E., Sangro B., Seufferlein T., Tabernero J., Verslype C., Wasan H., Van Cutsem E. The management of hepatocellular carcinoma. Current expert opinion and recommendations derived from the 24th ESMO/World Congress on Gastrointestinal Cancer, Barcelona, 2022. *ESMO Open*. 2023; 8 (3): 101567–101567. <https://doi.org/10.1016/j.esmoop.2023.101567>
25. Yoshino T., Cervantes A., Bando H., Martinelli E., Oki E., Xu R.H., Mulansari N.A., Govind Babu K., Lee M.A., Tan C.K., Cornelio G., Chong D.Q., Chen L.T., Tanasanvimon S., Prasongsook N., Yeh K.H., Chua C., Saccalan M.D., Sow Jenson W.J., Kim S.T., Chacko R.T., Syaiful R.A., Zhang S.Z., Curigliano G., Mishima S., Nakamura Y., Ebi H., Sunakawa Y., Takahashi M., Baba E., Peters S., Ishioka C., Pentheroudakis G. Pan-Asian adapted ESMO Clinical Practice Guidelines for the diagnosis, treatment and follow-up of patients with metastatic colorectal cancer. *ESMO Open*. 2023; 8 (3): 101558–101558. <https://doi.org/10.1016/j.esmoop.2023.101558>
26. Chen F., Cui X., Liu J., Han B., Zhang X., Zhang D., Liao H. Tissue structure updating for in situ augmented reality navigation using calibrated ultrasound and two-level surface warping. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2020; 67 (11): 3211–3222. <https://doi.org/10.1109/tbme.2020.2979535>
27. Dixon B.J., Daly M.J., Chan H., Vescan A.D., Witterick I.J., Irish J.C. Surgeons blinded by enhanced navigation: the effect of augmented reality on attention. *Surg. Endosc.* 2012; 27 (2): 454–461. <https://doi.org/10.1007/s00464-012-2457-3>

## Сведения об авторах [Authors info]

**Панченков Дмитрий Николаевич** — доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой хирургии и хирургических технологий, заведующий лабораторией минимально инвазивной хирургии ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0001-8539-4392>. E-mail: dnpanchenkov@mail.ru

**Григорьева Елена Владимировна** — доктор мед. наук, заведующая отделением лучевой диагностики Университетской клиники ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0001-8207-7180>. E-mail: iara333@yahoo.com

**Лискевич Роман Витальевич** — канд. мед. наук, ассистент кафедры хирургии и хирургических технологий, врач-хирург хирургического отделения Университетской клиники ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0002-5455-2439>. E-mail: rvliskevich@gmail.com

**Климов Даниил Дмитриевич** — канд. техн. наук, заведующий лабораторией медико-роботических цифровых технологий ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0001-6892-9324>. E-mail: daniil.klimov@gmail.com

**Абдулкеримов Зайпулла Ахмедович** — канд. мед. наук, доцент кафедры хирургии и хирургических технологий, заведующий хирургическим отделением Университетской клиники ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0003-4555-5184>. E-mail: dr-zay@yandex.ru

**Манчуров Владимир Николаевич** – канд. мед. наук, доцент кафедры кардиологии ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0003-4322-8243>. E-mail: vladimir-manchurov@yandex.ru

**Астахов Дмитрий Анатольевич** – канд. мед. наук, доцент кафедры хирургии и хирургических технологий ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0002-8776-944X>. E-mail: astakhovd@mail.ru

**Тупикин Кирилл Алексеевич** – канд. мед. наук, ассистент кафедры хирургии и хирургических технологий, врач-хирург хирургического отделения Университетской клиники ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0001-5467-0737>. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

**Прохоренко Леонид Сергеевич** – младший научный сотрудник лаборатории медико-роботических цифровых технологий ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России. <https://orcid.org/0000-0002-9411-5655>. E-mail: pro.leonid@gmail.com

**Балабеков Алирза Гаджибекович** – младший научный сотрудник лаборатории минимально инвазивной хирургии, врач-хирург хирургического отделения Университетской клиники ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России. <https://orcid.org/0009-0005-9521-8647>. E-mail: alishka.balabekov@yandex.ru

*Для корреспонденции* \*: Лискевич Роман Витальевич – e-mail: rvliskevich@gmail.com

**Dmitry N. Panchenkov** – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Department of Surgery and Surgical Technologies, Head of Laboratory of Minimally Invasive Surgery, Russian University of Medicine. <https://orcid.org/0000-0001-8539-4392>. E-mail: dnpanchenkov@mail.ru

**Elena V. Grigorieva** – Doct. of Sci. (Med.), Chief of the Diagnostic Radiology Department, University Clinic, Russian University of Medicine. <https://orcid.org/0000-0001-8207-7180>. E-mail: iara333@yahoo.com

**Roman V. Liskevich** – Cand. of Sci. (Med.), Assistant of the Department of Surgery and Surgical Technologies, Surgeon of the Surgical Department of University Clinic, Russian University of Medicine. <https://orcid.org/0000-0002-5455-2439>. E-mail: rvliskevich@gmail.com

**Daniil D. Klimov** – Cand. of Sci. (Techn.), Head of the Laboratory of Medical Robotic Digital Technologies, Russian University of Medicine. <https://orcid.org/0000-0001-6892-9324>. E-mail: daniil.klimov@gmail.com

**Zaypulla A. Abdulkerimov** – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Surgery and Surgical Technologies, Head of the Surgical Department of University Clinic, Russian University of Medicine. <https://orcid.org/0000-0003-4555-5184>. E-mail: dr-zay@yandex.ru

**Vladimir N. Manshurov** – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Cardiology, Russian University of Medicine. <https://orcid.org/0000-0003-4322-8243>. E-mail: vladimir-manchurov@yandex.ru

**Dmitry A. Astakhov** – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Surgery and Surgical Technologies, Russian University of Medicine. <https://orcid.org/0000-0002-8776-944X>. E-mail: astakhovd@mail.ru

**Kirill A. Tupikin** – Cand. of Sci. (Med.), Assistant of the Department of Surgery and Surgical Technologies, Surgeon of the Surgical Department of University Clinic, Russian University of Medicine. <https://orcid.org/0000-0001-5467-0737>. E-mail: kirilltupikin87@gmail.com

**Leonid S. Prokhorenko** – Junior Researcher, Laboratory of Medical Robotic Digital Technologies, Russian University of Medicine. <https://orcid.org/0000-0002-9411-5655>. E-mail: pro.leonid@gmail.com

**Aliriza H. Balabekov** – Junior Researcher, Laboratory of Minimally Invasive Surgery, Surgeon of the Surgical Department of University Clinic, Russian University of Medicine. <https://orcid.org/0009-0005-9521-8647>. E-mail: alishka.balabekov@yandex.ru

*For correspondence* \*: Roman V. Liskevich – e-mail: rvliskevich@gmail.com

Статья поступила в редакцию журнала 24.03.2025.  
Received 24 March 2025.

Принята к публикации 22.04.2025.  
Accepted for publication 22 April 2025.