

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ УЧЕБНОГО КОМПЛЕКСА ПРИМЕНЕНИЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ХИРУРГИИ

Бромберг Борис Борисович¹, Гаврилова Анна Леонидовна¹, Есаян Игорь Лаврентьевич¹,
Сизоненко Николай Александрович¹, Левченко Ярослав Иванович¹, Смирнов Антон Юрьевич²

¹ Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

ORCID: Бромберг Б. Б. 0000-0001-5296-3456

ORCID: Гаврилова А. Л. 0009-0004-3556-5439

ORCID: Есаян И. Л. 0009-0002-3685-7092

ORCID: Сизоненко Н. А. 0000-0001-6455-0894

ORCID: Смирнов А. Ю. 0009-0001-2440-2499

trebleb82@mail.ru

DOI: 10.46594/2687-0037_2024_4_1979

Аннотация. В статье рассматривается опыт адаптации технологии дополненной и смешанной реальности к учебной деятельности на кафедре военно-морской хирургии Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова (ВМедА им. С. М. Кирова). Проведена ретроспективная оценка зрелищности, доходчивости, полноты иллюстративного материала. Результаты послужили основанием для включения технологии дополненной реальности в учебный процесс. Создан учебный комплекс применения дополненной реальности в хирургии на основе навигационной системы «Меджитал Вижн», дополнен методическим и кадровым обеспечением. В результате повышены зрелищность, доходчивость, полнота иллюстративного материала. Запланирован ряд мероприятий по расширению использования учебного комплекса при подготовке иллюстративного материала.

Ключевые слова: дополненная реальность, иллюстрации, компьютерная томография, учебный комплекс, зрелищность, доходчивость, полнота.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бромберг Б. Б., Гаврилова А. Л., Есаян И. Л., Сизоненко Н. А., Левченко Я. И., Смирнов А. Ю. Разработка и апробация учебного комплекса применения дополненной реальности в хирургии // Виртуальные технологии в медицине. 2024. Т. 1, №4 DOI: 10.46594/2687-0037_2024_4_1979

Научная специальность: 3.2.3. Общественное здоровье и организация здравоохранения, социология и история медицины

Поступила в редакцию 01 октября 2024 г.

Поступила после рецензирования 13 ноября 2024 г.

Принята к публикации 25 ноября 2024 г.

DEVELOPMENT AND TESTING OF A TRAINING COMPLEX FOR THE USE OF AUGMENTED REALITY IN SURGERY

Bromberg Boris, Gavrilova Anna, Esayan Igor, Sizonenko Nikolay,
Levchenko Yaroslav, Smirnov Anton

trebleb82@mail.ru

DOI: 10.46594/2687-0037_2024_4_1979

Annotation. The article discusses the experience of adapting augmented and mixed reality technology to teaching at the Naval Surgery Department of S. M. Kirov Medical Military Academy. A retrospective analysis of the visibility, understandability, and completeness of the illustrative material was carried out. The results laid as the basis for the inclusion of augmented reality technology in the educational process. A training complex for the use of augmented reality in surgery based on the "Medgital Vision" surgery navigation has been created, with methodologic and personnel supply. As a result, the visibility, understandability, and completeness of the illustrative material are increased. Some measures are planned to expand the use of the educational complex in the creating of illustrative material.

Keywords: augmented and mixed reality, illustrative material, computed tomography, training complex, visibility, understandability, completeness.

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

For quotation: Bromberg B., Gavrilova A., Esayan I., Sizonenko N., Levchenko Ya., Smirnov A. Development and Testing of a Training Complex for the Use of Augmented Reality in Surgery // Virtual technologies in Medicine. 2024. T. 1, No. 4. DOI: 10.46594/2687-0037_2024_4_1979

Received October 01, 2024

Revised November 13, 2024

Accepted November 25, 2024

Введение

Профессиональная подготовка врачей хирургических специальностей на современном этапе находится между Сциллой высокого уровня запросов к образовательным программам, и Харибдой узких рамок доступной практической подготовки. Симуляционные технологии обучения призваны расширить этот коридор, однако за возможностью репетиции отдельных сценариев диагностического и лечебного процессов теряется принцип их персонификации. Обширные библиотеки кейсов, особенно содержащих иллюстративный и муляжный материал, требуют огромных затрат ресурсов как на создание, так и поддержание в актуальном состоянии. Своеобразным компромиссом становится технология цифровой реальности (ЦР), и в частности — дополненной и, в ряде случаев — смешанной реальности.

«Дополненная реальность» (ДР, англ. — Augmented reality (AR)) — восприятие объектов реального мира одновременно с воспроизведенными компьютером данными об объекте (цифровой моделью), чаще визуальной. Технология направлена на обеспечение пользователя более полной картиной объекта, чем та, которая достижима при классическом восприятии. «Смешанная реальность» (СР, англ. — Mixed reality (MR)) отличается наличием возможности воздействия пользователя на объекты в ДР [28].

Дебют использования ДР в медицине приходится на 80-е годы XX в., но значительно раньше он состоялся в инженерии, технике и индустрии развлечений. Настоящий этап клинического использования ДР, как и более продвинутой СР, характеризуется переходом из средства предоперационного планирования в разряд хирургического инструмента, применяемого во время операции [1, 2, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 19, 26, 31] или иного вмешательства [6, 25, 32]. Формируются варианты использования ДР/СР: вывод изображения с эндоскопической камеры на устройства ЦР [18], интраоперационный вывод кадров КТ/МРТ и т. п. на устройства ЦР [6, 18], и наконец, трансляция на пользовательские устройства ЦР синтетического изображения, состоящего из совмещенных изображения операционного поля и 3D-модели пациента, созданной по интроскопическим данным [6, 10, 12, 19, 20, 25], 3D печать моделей анатомических структур [23, 32, 33]. Достаточно широко освещено использование ДР/СР в кардиохирургии, урологии, нейрохирургии и челюстно-лицевой, коло-ректальной хирургии [8, 9, 11, 12, 13, 16, 18, 21, 22, 23, 24, 27, 34]. Применение ЦР следует рассматривать как средство информационных технологий в медицине, наряду с программными продуктами прогнозирования течения заболеваний [3, 4, 30, 31].

Периоперационная польза ДР/СР обсуждается специалистами различных профилей, чему посвящено большое количество публикаций [5, 6, 14, 27, 33]. Однако, применение технологий ДР/СР в хирургии, не имея устойчивого образовательного и методического базиса, остаётся уделом энтузиастов как в России, так и за рубежом [7, 15, 17, 29].

Кафедра военно-морской хирургии (ВМХ) Военно-медицинской академии участвует в разработке, распространении, совершенствовании применения ДР/СР в хирургии с 2021 года [2, 19, 21]. В настоящей публикации будет сделана попытка критически оценить образовательные аспекты технологии ДР/СР.

Цель исследования

Адаптация технологии дополненной и смешанной реальности к теоретической и практической додипломной и последипломной подготовке по профилю «хирургия».

Задачи

1. Выявить недостатки существующих образовательных технологий, потенциально устранимые за счет применения технологии дополненной и смешанной реальности.
2. Разработать и внедрить способы применения технологии дополненной реальности, направленные на устранение выявленных недостатков.
3. Разработать и внедрить учебный комплекс дополненной реальности в додипломной и последипломной подготовке по профилю «хирургия».
4. Оценить результаты практического применения учебного комплекса дополненной реальности в додипломной и последипломной подготовке по профилю «хирургия».
5. Намечить пути дальнейшей интеграции учебного комплекса дополненной реальности в образовательный процесс по профилю «хирургия».

Материалы и методы

Исследование проведено на базе кафедры военно-морской хирургии ВМедА им. С. М. Кирова с участием других подразделений академии — диагностического центра, кафедры рентгенологии, НИЦ, а также на клинических базах кафедры военно-морской хирургии: НИИСП им. И. И. Джанелидзе, 1-й ВМКГ, 442-й ВКГ. Материалом исследования послужило иллюстративное наполнение учебных программ, реализуемых кафедрой в количестве 24 на 2023-24 учебный год, в том числе — клинические случаи с участием пациентов клиники и баз. Учтены были и далее анализируются только те иллюстрации, которые были созданы на основании проведенных каждому пациенту компьютерно-томографических исследований в организациях, послуживших базой исследования, либо заимствованы с соблюдением надлежащих правил, согласием и ссылками из публикаций других авторов. Пациенты, данные которых были использованы в качестве иллюстративного материала и подвергнуты анализу, дали информированное согласие как на демонстрацию их данных в образовательном процессе, так и на участие в настоящем исследовании. Подготовка и демонстрация иллюстративного материала осуществлялась в следующих вариантах: первый вариант — классический, второй вариант — с применением технологии ДР/СР.

При классическом варианте архивные собственные иллюстрации и заимствованные иллюстрации в виде

отдельных кадров или видеофрагментов демонстрировались обучающимся во время лекций или практических занятий в составе соответствующих презентаций, с воспроизведением файлов с персональных компьютеров (ПК) через ЖК-мониторы, телевизоры, проекторы и экраны из фондов материально-технического обеспечения (МТО) кафедры. Для подготовки таких демонстраций использовался захват отдельных кадров или видеопоследовательности и внедрение их в создаваемые презентации. В качестве комментариев использованы описания результатов исследования, сделанные врачом-рентгенологом, проводившим исследование, при необходимости дополненные преподавателем-автором учебного материала. При клинических демонстрациях использованы просмотр отпечатков кадров КТ на пленке, а также воспроизведение файлов DICOM с носителей, содержащих записи данных КТ пациентов на ПК с выводом изображения на монитор. В ряде единичных случаев проводилась демонстрация выполненных врачом-рентгенологом с использованием средств штатного программного обеспечения 3D-изображений. Подготовка заключалась в организации получения и сохранения носителя с записью цифровых данных КТ, а также в установке на ПК программы воспроизведения записи КТ. Для подготовки материалов для использования технологии ДР/СР применялись отличающиеся материалы и методы. В качестве исходных данных использованы цифровые записи результатов КТ-исследований. Эти данные подвергались сегментации и были использованы для построения 3D-моделей в программе «3D-Slicer». В лечебных и учебных целях демонстрация созданных 3D-моделей могла быть выполнена в нескольких вариантах. Изображения 3D-модели могли быть выведены на экран ПК, либо на дополнительный дисплей. Другим использованным, качественно отличающимся вариантом, является вывод на очки дополненной реальности. В качестве ПК для отдельных этапов подготовки иллюстративных материалов применения ДР/СР использовались ПК из фонда МТО кафедры. Однако полное представление всех этапов и возможностей ДР/СР осуществлялось на навигационной системе для хирургии на основе дополненной реальности «Меджитал Вижн», с выводом изображения 3D-модели на комплектные очки ДР «Microsoft Hololens II». С 2021 года использовался экземпляр системы, принадлежащий ООО «Меджитал», а в 2023 экземпляр системы был приобретен на кафедру ВМХ в рамках программы «Приоритет 2030». Иные средства вывода 3D-изображений мы не применяли.

Для оценки влияния способов демонстрации иллюстративного материала на обучающихся применена методика интервью, в ходе которой для оценок характеристик (наглядности, доходчивости и полноты) использованы критерии «низкий», «средний», «высокий», а также подбор эпитетов. Численные данные (процент респондентов, давших соответствующую оценку) были сведены в таблицы. Статистическая обработка не применялась. В процессе подготовки текста данного сообщения применен описательный метод.

Результаты

Для решения первой задачи во время практических занятий осуществлено прямое и косвенное интервьюирование обучающихся по вопросам наглядности, доходчивости и полноты восприятия иллюстративного материала, представленного в классической форме. Большинство респондентов при ответе на прямые вопросы высказались о вполне достаточной для учебных целей наглядности, доходчивости и полноты восприятия. Однако, при косвенном интервьюировании получены признаки недостаточной наглядности, доходчивости и полноты иллюстраций. Этими признаками стали: отсутствие понимания пространственного положения органов и патологических очагов, их границ, проекции на кожу областей тела пациента, синтопии органов, в том числе — изменивших форму или смещенных вследствие патологического процесса (табл. 1). Слабые результаты были получены при попытках воспроизведения респондентами архитектуры артериальной и венозной системы, продемонстрированных на изображениях иллюстративных материалов. Также около половины обучающихся назвали последовательное рассматривание нескольких десятков кадров КТ на экране монитора «монотонным и скучным» упражнением.

Таблица 1

Характеристика оценок иллюстративного материала обучающимися по прямым и косвенным вопросам интервьюирования, 2022–2023 учебный год

Критерии	Раздел интервью									Всего респондентов
	Прямые вопросы			Косвенные вопросы			Сосудистая архитектоника			
	достаточная	частично достаточная	недостаточная	достаточная	частично достаточная	недостаточная	достаточное	частично достаточное	недостаточное	
Наглядность	20*	6	2	7	15	6				28
Доходчивость	18	7	3	7	13	8				28
Полнота	21	6	1	5	11	9				28
Качество воспроизведения							1**	4**	23**	28
* Количество респондентов (обучающихся), давших соответствующую оценку иллюстративному материалу, чел.										
** Количество респондентов (обучающихся), достигших соответствующего качества воспроизведения, чел.										

Таким образом, недостатком общепринятых иллюстративных методов следует считать сложность понимания обучающимися пространственного расположения и синтопии структур организма, в том числе — элементов сосудистой системы, и он, несомненно, существенный. Менее значимыми следует считать недостаточную наглядность, доходчивость, полноту, и низкую зрелищность.

В поисках решения второй задачи осуществлена подготовка и демонстрация ряда иллюстративных материалов с использованием технологии ДР/СР. Для этого преподаватели кафедры осуществляли сегментацию томограмм, создавали 3D-модель. При создании 3D-модели использовано свойство программы 3D-Slicer сегментации не только по рентгеновской плотности, как у штатного ПО томографов, но и по анатомическому, модельному и смешанному способам. Сегментации проводились как в полностью «ручном» режиме, так и в автоматическом, с последующей до-

работкой. Демонстрация 3D-модели осуществлялась в виде серии ее изображений в разных проекциях или в виде видеозаписи, на ПК без специального ПО. В случае наличия на ПК установленного ПО 3D-Slicer или «Меджитал Вижн» демонстрация 3D-модели осуществлялась в этих программах. Демонстрация в ПО 3D-Slicer или «Меджитал Вижн» позволяет оперативно управлять изображением 3D-модели, в том числе включать, отключать, изучать отдельно каждый из компонентов модели в любом их сочетании и с любого ракурса (рис. 1.).

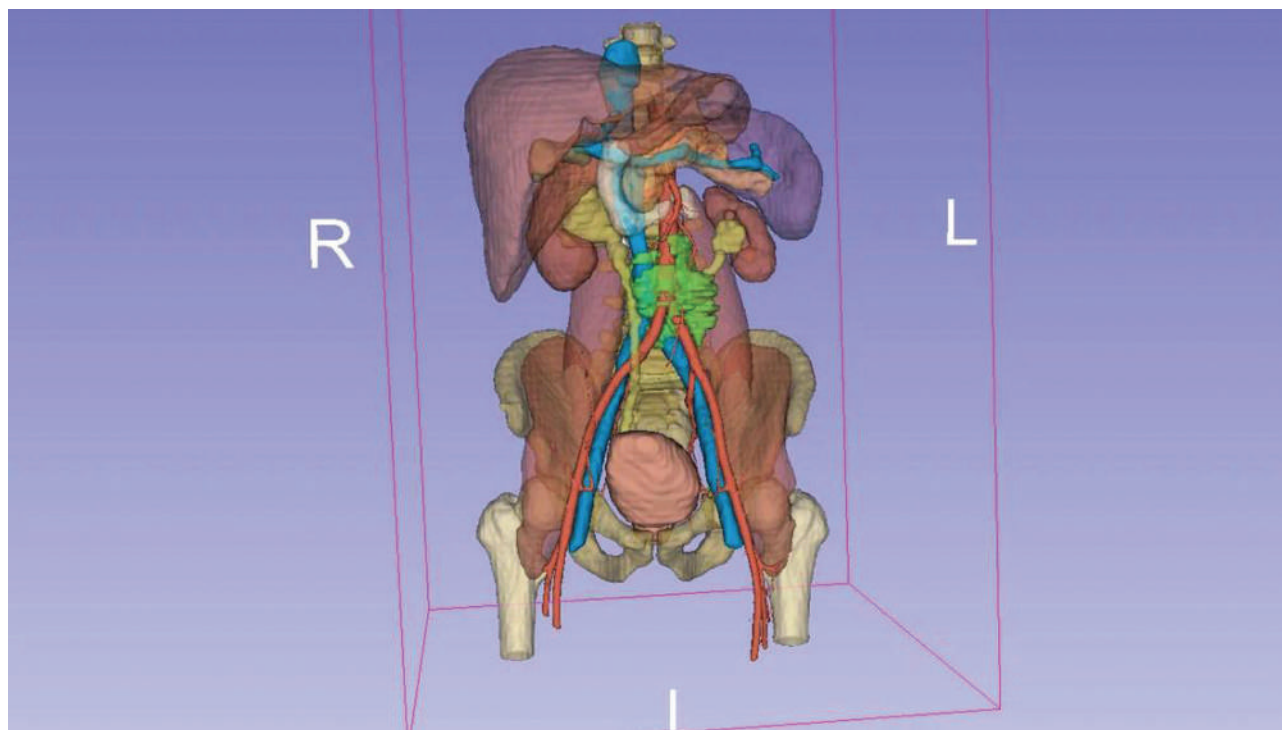


Рис. 1. Пример изображения 3D-модели, используемой в качестве иллюстративного материала

Вывод изображения возможен как на штатный монитор ПК, так и на дополнительный. Полное объемное восприятие обучающимися доступно при выводе изображения 3D-модели через входящие в комплект навигационной системы «Меджитал Вижн» очки ДР. Подготовка файлов для демонстрации через очки ДР осуществлялась с участием специалистов ООО «Меджитал». В отдельных случаях выполнялась печать 3D-моделей из пластика на 3D-принтере (рис. 2).

В контексте решения третьей задачи были сформулированы требования к учебному комплексу (УК) и осуществлено минимальное наполнение согласно этим требованиям. При этом использованы случаи из клинической деятельности кафедры ВМХ, и с согласия коллег с кафедр военной травматологии и ортопедии, нейрохирургии, 2-й хирургии усовершенствования врачей, а также 1-го СПбГМУ им. И. П. Павлова. По профильным специальностям осуществлен охват следующих направлений: хирургия брюшной полости и малого таза, хирургия желчевыводящих путей, торакальная хирургия, хирургия инородных тел, челюстно-лицевая хирургия, нейрохирургия, травматология и ортопедия, анестезиология. Состав УК ДР/СР должен

включать: учебно-методическое, кадровое и материально-техническое обеспечение.

В учебно-методическое обеспечение УК введено: руководство по эксплуатации АПК интраоперационной навигации на основе дополненной реальности «Меджитал-Вижн», обучающий видеофильм, методические рекомендации по сегментированию томограмм и моделированию операций, фото-видеоархив операций. Также введена демонстрация применения АПК интраоперационной навигации на основе дополненной реальности «Меджитал-Вижн» по прямому назначению — для целей навигации. Проведена работа по материально-техническому обеспечению, в результате которой отведены площади помещений, проведено выделение, дооснащение и настройка трех ПК для подготовки ДР/СР учебных материалов, накоплена коллекция дисков исходных томограмм, а файлы дублированы на жесткие диски ПК, приобретен и введен в эксплуатацию АПК хирургической навигации на основе дополненной реальности «Меджитал-Вижн» (компьютер, очки ДР, роутер, маркеры и т. д.), комплект изготовленных 3D-моделей, подключен широкоформатный монитор, подготов-

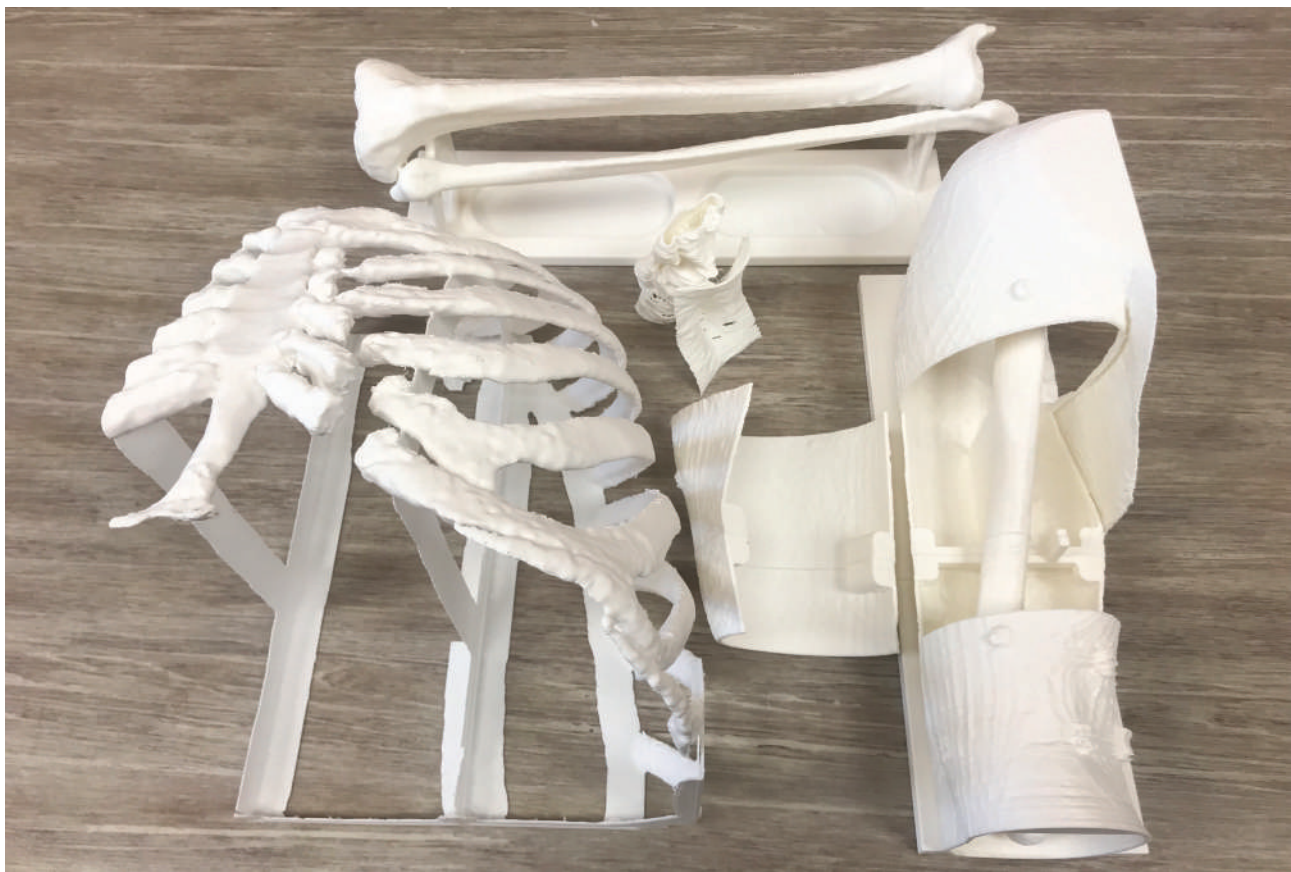


Рис. 2. Пластиковые модели, используемые в качестве иллюстративного материала

лен набор манекенов и муляжей, комплект хирургических инструментов, 3D-принтер с расходными материалами (рис. 3). В результате проведенных мероприятий создан работоспособный УК по при-

менению технологии ДР/СР в хирургии. Работа по совершенствованию ПО, пополнению библиотеки как исходных данных, так и образовательных продуктов ведется непрерывно.



Рис. 3. Учебный класс с частью развернутого учебного комплекса применения ДР/СР в хирургии

В стадии формирования кадровое обеспечение учебного применения технологии ДР/СР в хирургии. В разной степени владеют методикой 6 преподавателей кафедры, включая начальника кафедры. В подготовке учебных материалов участвуют 4 сотрудника ООО «Меджитал». Особо следует отметить добровольное участие обучающихся ВМедА в количестве 3 человек.

Таким образом, на кафедре ВМХ успешно создан и введен в эксплуатацию начальный вариант УК применения ДР/СР в хирургии, включающий методическое, материально-техническое и кадровое обеспечение.

Для оценки эффективности также проведено интервьюирование обучающихся. Большинство респондентов при ответе на прямые вопросы высказались о более высокой, чем при классических демонстрациях наглядности, доходчивости и полноты восприятия. Улучшилось понимание пространственного положения органов и патологических очагов, их границ, проекций на поверхность тела пациента, синтопии нормальных и пораженных органов. Значительно улучшилось понимание архитектоники сосудистой системы (табл. 2) Не было оценок упражнения как «монотонное и скучное». Однако, при косвенном интервьюировании получены признаки недостаточной концентрации внимания на медицинских аспектах изображения, и необходимости привлечения внимания обучающихся к этим аспектам преподавателем с помощью комментариев.

Таблица 2
Сравнительная характеристика оценок иллюстративного материала, подготовленного по традиционной схеме и с применением технологии ДР/СР, 2023-2024 учебный год

Критерии	Раздел интервью								
	Иллюстративные материалы традиционной подготовки			Иллюстративные материалы, подготовленные с использованием ДР/СР			Сосудистая архитектура		
	Достаточная	частично достаточная	недостаточная	Достаточная	частично достаточная	недостаточная	Достаточное	частично достаточное	недостаточное
Наглядность	7*	26	5	29	7	2			
Доходчивость	6	22	10	27	9	2			
Полнота	15	15	8	30	5	3			
Качество воспроизведения							12**	18**	8**
* Количество респондентов (обучающихся), давших соответствующую оценку иллюстративному материалу, чел. ** Количество респондентов (обучающихся), достигших соответствующего качества воспроизведения, чел.									
									Всего респондентов

Оценивая результаты создания и применения УК с включением ДР/СР в хирургии, надо отметить что достигаемые уровни наглядности, доходчивости, полноты и зрелищности иллюстративного материала при использовании полного цикла технологии, т. е. при выводе изображения в 3D-формате (в нашем случае — на очки ДР) являются новыми, качественно превосходящими уровни, обеспечиваемые традиционными средствами демонстрации. Таким образом, применение технологии ДР/СР в образовательном процессе позволяет улучшить наглядность, доходчивость, полноту и зрелищность иллюстративного материала, но требует серьезных трудозатрат на подготовку преподавателя, и привлечения внимания ряда обучающихся существенным фрагментам 3D-моделей. Делать выводы о влиянии применения в УК технологий ДР/СР на итоговый уровень подготовки обучающихся, вероятно, преждевременно. Однозначно положительное влияние на восприятие и понимание пространственных взаимоотношений структур организма, в том числе — сосудистой системы. УК применения ДР/СР в хирургии позволяет решить задачи продвинутого уровня (сценарии): демонстрация 3D-анатомии (3D-модель, 3D-принт); демонстрация вариантной анатомии; демонстрация структурных изменений в результате поражения; патоморфоз; моделирование операции; формирования навыка использования ДР/СР в периоперационном периоде. Кроме того, существенным достижением внедрения учебного комплекса применения ДР/СР в хирургии является формирование когорты преподавателей и обучающихся, как владеющих данной цифровой технологией, так и осведомленной о ее наличии и возможностях. Проводимая работа полностью соответствует приоритетным направлениям развития науки и техники в части цифровизации медицины и медицинского образования, и в части персонификации медицины. Вместе с тем, налицо высокая ресурсо-трудоемкость использования учебного комплекса применения ДР/СР в хирургии. Авторы убеждены, что технология является методикой завтрашнего дня, которая на кафедре ВМХ работает уже сегодня.

На основании опыта создания и использования УК применения ДР/СР в хирургии авторы сформировали два направления его развития. Первым вариантом является использование УК с целью создания иллюстративного материала для реализации существующих программ, преподавание которых поручено кафедре. Положительное влияние этого варианта можно считать доказанным, и в настоящее время сотрудниками кафедры ведется создание базы данных, содержащей 3D-модели организации доступа к ней. Вторым вариантом может стать создание курса в рамках вузовского компонента учебного времени либо факультативного, посвященного изучению собственно применению технологии ДР/СР в хирургии. На кафедре ВМХ в рамках создания учебно-экспериментальной лаборатории подготовки носителей отраслевого лидерства передовой хирургии (передовой хирургической школы) — проекта по программе «Приоритет 2030» — запланировано проведение цикла теоретических и практических занятий по данной теме. По результатам цикла будут приняты дальнейшие решения.

Обсуждение

Цифровая трансформация медицины включает концепцию «цифровая модель пациента — цифровая модель заболевания — цифровая модель лечения». В хирургии эта концепция осуществляется в том числе посредством технологии дополненной и смешанной реальности. Использование технологии ДР/СР в учебных целях применяется несколько десятилетий и оценивается положительно большинством исследователей. Ряд научных и педагогических коллективов в Российской Федерации и за рубежом сообщают о достижении впечатляющих успехов в области образования по техническим специальностям. Схожая тенденция наблюдается и в сфере обучения по биологическим и медицинским дисциплинам. Вместе с тем, конкретные вопросы использования технологии ДР/СР в медицинском образовании слабо освещены в доступной литературе. Полученные нами в настоящем исследовании результаты, в том числе — УК применения ДР/СР в хирургии, созвучны положениям, сформулированным другими специалистами, погруженными в данное течение [11]. В целом, проблема далека от окончательного решения и требует дальнейшей работы и осмысления полученного опыта.

Заключение

На кафедре ВМХ ВМедА, кафедрах-партнерах и клинических базах проведено исследование, посвященное адаптации технологии дополненной и смешанной реальности к теоретической и практической додипломной и последипломной подготовке по профилю «хирургия». Путем интервьюирования обучающихся были выяснены недостаточные характеристики иллюстраций, подготовленных из исходных данных компьютерной томографии традиционным способом. На этом основании сформированы требования к создаваемому учебному комплексу использования ДР/СР в хирургии. В основе материально-технического обеспечения комплекса — навигационная система для хирургии на основе дополненной реальности «Меджитал Вижн», с выводом изображения 3D-модели на очки ДР «Microsoft Hololens II». С 2021 года использовалась система, принадлежащая ООО «Меджитал», а в 2023 экземпляр системы был приобретен на кафедру ВМХ в рамках программы «Приоритет 2030». Другими компонентами комплекса стали кадровое и методическое обеспечение. При повторном интервьюировании получены данные, свидетельствующие о повышении наглядности, доходчивости и полноты иллюстраций, подготовленных и воспроизводимых с использованием учебного комплекса применения ДР/СР в хирургии. Таким образом, подтверждены преимущества учебного комплекса использования ДР/СР в хирургии в части подготовки и демонстрации иллюстративного материала. В качестве путей дальнейшего развития учебного комплекса применения ДР/СР в хирургии намечены создание базы данных, полученных с его помощью иллюстраций, распространение опыта среди коллег, и проведение тестовых образовательных циклов. Необходима дальнейшая работа и накопление опыта использования комплекса.

Вклад авторов

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонова М. В., Гайворонский И. В., Дорожкин Р. В., Литвиненко С. В., Ничипорук Г. И., Сальников А. И. Программа визуализации процессов функциональной анатомии центральной нервной системы в режимах AR/VR / Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021668401, 15.11.2021. // Заявка № 2021667400 от 29.10.2021.
2. Агаханова М. Д., Гребеньков В. Г., Румянцев В. Н., Коржук М. С., Дымников Д. А., Иванов В. М., Смирнов А. Ю., Балюра О. В., Еселевич Р. В., Гаврилова А. Л. Опыт применения технологии дополненной реальности в хирургическом лечении больного с металлическими инородными телами нижних конечностей // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2023. Т. 25. № 2. С. 261—268.
3. Ивануса С. Я., Лазуткин М. В., Чеботарь А. В. Диагностика и профилактика послеоперационных осложнений / Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2019. № 4. С. 34.
4. Котив Б. Н., Будько И. А., Иванов И. А., Тросько И. У. Использование искусственного интеллекта для медицинской диагностики с помощью реализации экспертной системы // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2021. № 1 (73). С. 215—224.
5. Кудрявцева А. В., Багненко С. С., Дзидзава И. И., Железняк И. С., Труфанов Г. Е., Рязанов В. В., Красовская В. А., Котив А. Б., Казаков А. Д. / КТ и МРТ в оценке резектабельных и условно-резектабельных опухолей поджелудочной железы // Анналы хирургической гепатологии. 2021. Т. 26. № 1. С. 34—47.
6. Лысенко А. В., Разумова А. Я., Яременко А. И., Иванов В. М., Стрелков С. В. Первичные результаты применения дополненной реальности при различных патологиях в челюстно-лицевой области // Медицинский вестник МВД. 2022. Т. 117. № 2 (117). С. 7—10.
7. Alrishan Alzouebi I, Saad S, Farmer T, Green S. Is the use of augmented reality-assisted surgery beneficial in urological education? A systematic review. *Curr Urol*. 2021;15(3):148-152. doi:10.1097/CU9.000000000000036
8. Atallah, S., Nassif, G.J., & Larach, S.W. (2014). Stereotactic navigation for TAMIS-TME: opening the gateway to frameless, image-guided abdominal and pelvic surgery. *Surgical Endoscopy*, 29, 207—211.
9. Bartella AK, Kamal M, Scholl I, et al. Virtual reality in preoperative imaging in maxillofacial surgery: implementation of «the next level»? *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2019;57(7):644-648. doi:10.1016/j.bjoms.2019.02.014
10. Cartucho J, Shapira D, Ashrafian H, Giannarou S. Multimodal mixed reality visualisation for intraoperative surgical guidance. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2020;15(5):819-826. doi:10.1007/s11548-020-02165-4

11. Casas-Yrurzum S, Gimeno J, Casanova-Salas P, García-Pereira I, García Del Olmo E, Salvador A, Guijarro R, Zaragoza C, Fernández M. A new mixed reality tool for training in minimally invasive robotic-assisted surgery. *Health Inf Sci Syst.* 2023 Aug 2;11(1):34. doi: 10.1007/s13755-023-00238-7. PMID: 37545486; PMCID: PMC10397172.
12. Chu MW, Moore J, Peters T, et al. Augmented reality image guidance improves navigation for beating heart mitral valve repair. *Innovations (Phila).* 2012;7(4):274-281. doi:10.1097/IMI.0b013e31827439ea
13. Coelho G, Rabelo NN, Vieira E, et al. Augmented reality and physical hybrid model simulation for preoperative planning of metopic craniosynostosis surgery. *Neurosurg Focus.* 2020;48(3):E19. doi:10.3171/2019.12.FOCUS19854
14. Dickey RM, Srikishen N, Lipshultz LI, Spiess PE, Carrion RE, Hakky TS. Augmented reality assisted surgery: a urologic training tool. *Asian J Androl.* 2016;18(5):732-734. doi:10.4103/1008-682X.166436
15. Eckert M, Volmerg JS, Friedrich CM. Augmented Reality in Medicine: Systematic and Bibliographic Review. *JMIR Mhealth Uhealth.* 2019;7(4):e10967. Published 2019 Apr 26. doi:10.2196/10967
16. Guerriero, L., Quero, G., Diana, M., Soler, L., Agnus, V., Marescaux, J., & Corcione, F. (2018). Virtual Reality Exploration and Planning for Precision Colorectal Surgery. *Diseases of the Colon & Rectum*, 61, 719–723.
17. Guha, P., Lawson, J., Minty, I. et al. Can mixed reality technologies teach surgical skills better than traditional methods? A prospective randomised feasibility study. *BMC Med Educ* 23, 144 (2023). <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04122-6>
18. Huber, T., Hadzijusufović, E., Hansen, C., Paschold, M., Lang, H., & Kneist, W. (2019). Head-Mounted Mixed-Reality Technology During Robotic-Assisted Transanal Total Mesorectal Excision // *Diseases of the Colon & Rectum*, 62, 258-261.
19. Ivanov V.M., Krivtsov A.M., Smirnov A.Yu., Grebenkov V.G., Surov D.A., Korzhuk M.S., Strelkov S.V., Ivanova E.G. Experience in the application of augmented reality technology in the surgical treatment of patients suffering primary and recurrent pelvic // *Journal of Personalized Medicine*. 2024. T. 14. № 1. C. 19.
20. Ivanov, V.M.; Krivtsov, A.M.; Strelkov, S.V.; Kalakutskiy, N.V.; Yaremenko, A.I.; Petropavlovskaya, M.Y.; Portnova, M.N.; Lukina, O.V.; Litvinov, A.P. Intraoperative Use of Mixed Reality Technology in Median Neck and Branchial Cyst Excision. *Future Internet* 2021, 13, 214. <https://doi.org/10.3390/fi13080214>
21. Ivanov V.M., Krivtsov A.M., Strelkov S.V., Smirnov A Yu., Shipov R.Yu., Grebenkov V.G., Rumyantsev V.N., Surov D.A., Korzhuk M.S., Gheleznyak I.S., Koskin V.S. Practical application of augmented|mixed reality technologies in surgery of abdominal cancer patients // *Journal of Imaging*. 2022. T. 8. № 7.
22. Kawada, K., Hasegawa, S., Okada, T., Hida, K., Okamoto, T., & Sakai, Y. (2017). Stereotactic navigation during laparoscopic surgery for locally recurrent rectal cancer. *Techniques in Coloproctology*, 21, 977-978.
23. Kontovounisios, C., Tekkis, P.P., & Bello, F. (2018). 3D imaging and printing in pelvic colorectal cancer: 'The New Kid on the Block'. *Techniques in Coloproctology*, 23, 171-173.
24. Kwak, J., Romagnolo, L.G., Wijsmuller, A.R., Gonzalez, C., Agnus, V., Lucchesi, F.R., Melani, A.G., Marescaux, J., & Dallemagne, B. (2019). Stereotactic Pelvic Navigation With Augmented Reality for Transanal Total Mesorectal Excision. *Diseases of the Colon & Rectum*, 62, 123–129.
25. Leuze C, Zoellner A, Schmidt AR, et al. Augmented reality visualization tool for the future of tactical combat casualty care. *J Trauma Acute Care Surg.* 2021;91(2S Suppl 2):S40-S45. doi:10.1097/TA.0000000000003263
26. Mikhail M, Mithani K, Ibrahim GM. Presurgical and Intraoperative Augmented Reality in Neuro-Onco-logic Surgery: Clinical Experiences and Limitations. *World Neurosurg.* 2019;128:268-276. doi:10.1016/j.wneu.2019.04.256
27. Pérez-Serrano, N., Fernando Trebolle, J., Sánchez Margallo, F.M., Blanco Ramos, J.R., García Tejero, A., & Aguas Blasco, S. (2019). Digital 3-Dimensional Virtual Models in Colorectal Cancer and Its Application in Surgical Practice. *Surgical Innovation*, 27, 246-247.
28. Sadeghi AH, Mathari SE, Abjigitova D, et al. Current and Future Applications of Virtual, Augmented, and Mixed Reality in Cardiothoracic Surgery. *Ann Thorac Surg.* 2022;113(2):681-691. doi:10.1016/j.athoracsur.2020.11.030
29. Sánchez-Margallo JA, Plaza de Miguel C, Fernández Anzules RA and Sánchez-Margallo FM (2021) Application of Mixed Reality in Medical Training and Surgical Planning Focused on Minimally Invasive Surgery. *Front. Virtual Real.* 2:692641. doi: 10.3389/frvir.2021.69264
30. Sparwasser PM, Schoeb D, Miernik A, Borgmann H. Augmented Reality und Virtual Reality im Operationssaal — Status Quo und Quo vadis [Augmented reality and virtual reality in the operating theatre status quo und quo vadis]. *Aktuelle Urol.* 2018;49(6):500-508. doi:10.1055/a-0759-0029
31. Tang KS, Cheng DL, Mi E, Greenberg PB. Augmented reality in medical education: a systematic review. *Can Med Educ J.* 2020; 11(1):e81-e96. Published 2020 Mar 16. doi:10.36834/cmej.61705
32. Thomas DJ. Augmented reality in surgery: The Computer-Aided Medicine revolution. *Int J Surg.* 2016;36(Pt A):25. doi:10.1016/j.ijssu.2016.10.003
33. Wake N, Rosenkrantz AB, Huang WC, et al. A workflow to generate patient-specific three-dimensional augmented reality models from medical imaging data and example applications in urologic oncology. *3D Print Med.* 2021;7(1):34. Published 2021 Oct 28. doi:10.1186/s41205-021-00125-5
34. Zawy Alsofy S, Nakamura M, Suleiman A, et al. Cerebral Anatomy Detection and Surgical Planning in Patients with Anterior Skull Base Meningiomas Using a Virtual Reality Technique. *J Clin Med.* 2021;10(4):681. Published 2021 Feb 10. doi:10.3390/jcm10040681