

ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В МЕДИЦИНСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

М. Д. Рахматуллина¹ [0009-0000-4476-8570], Ю. А. Карпеева² [0009-0005-1632-2914]

¹Казанский государственный медицинский университет, г. Казань, Россия

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

¹milyaushadamirovna@mail.ru, ²leyaleit@gmail.com

Аннотация

Проведен комплексный анализ применения технологий виртуальной реальности (VR) в системе медицинского образования с особым акцентом на область акушерства и гинекологии. Рассмотрены педагогические основания внедрения VR (конструктивизм, теория опытного обучения Д. Колба, теория когнитивной нагрузки), современные технологические платформы различных уровней иммерсивности, а также география и практика внедрения VR-технологий в ведущих медицинских вузах России и мира. Особое внимание уделено специализированным VR-симуляторам для отработки родовспоможения, неотложных акушерских состояний и малоинвазивных гинекологических вмешательств.

Представлены результаты рандомизированных контролируемых исследований, подтверждающих эффективность VR-тренингов в формировании психомоторных навыков, клинического мышления и командного взаимодействия. Проанализированы основные барьеры внедрения VR: финансовые, технические, кадровые, а также специфические проблемы киберболезни и этические вызовы. Рассмотрены организационные подходы к расширению применения VR: модели коллективного использования оборудования, формирование репозитория верифицированного образовательного контента, интеграция с системами управления обучением. Обоснован потенциал конвергенции VR с искусственным интеллектом для создания адаптивных персонализированных образовательных сред.

Ключевые слова: виртуальная реальность, VR, тренажер, медицинское образование, симуляционное обучение, акушерство и гинекология, иммерсивные технологии, клиническое мышление, психомоторные навыки, киберболезнь, цифровизация образования, искусственный интеллект в обучении.

ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие цифровых технологий за последнее десятилетие существенно трансформировало систему высшего образования, в том числе медицинского. Иммерсивные технологии, прежде всего виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR), рассматриваются как одно из ключевых направлений технологически обогащенного обучения, обеспечивающее повышение вовлеченности обучающихся, улучшение усвоения сложных пространственных и процедурных знаний и расширение форм активного обучения [1, 2].

Особенности медицинского образования делают VR особенно актуальной. Ограничение времени клинических ротаций, рост требований к безопасности пациентов, этические и юридические барьеры для обучения «у постели больного», а также последствия пандемии COVID-19, приведшие к сокращению прямых клинических контактов, усилили потребность в высокореалистичных симуляционных средах [3]. Виртуальная реальность позволяет моделировать широкий спектр клинических сценариев, включая редкие и высокорисковые ситуации, обеспечивая стандартизированное, повторяемое и контролируемое обучение без риска для пациента [4, 5].

Отдельного внимания заслуживает применение VR в акушерстве и гинекологии как одной из наиболее ответственных сфер клинической практики. Недостаток возможностей безопасной отработки родовспоможения и акушерских неотложных состояний делает симуляционное обучение критически важным. Современные исследования показали, что VR-технологии позволяют визуализировать биомеханику родового акта, моделировать динамические изменения положения плода и родовых путей, а также отрабатывать алгоритмы действий при осложнениях [6].

В этих условиях актуальным представляется целостный анализ применения VR в медицинском образовании с акцентом на акушерство и гинекологию: педагогические основания, существующие платформы, доказательства эффективности, барьеры и перспективы внедрения.

1. НАПРАВЛЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБРАЗОВАНИИ МЕДИЦИНЫ И ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Виртуальная реальность рассматривается как одно из центральных направлений развития технологий, усиливающих медицинское образование на

до- и последипломных этапах [4, 5]. В современных обзорах особо подчеркивается, что VR применяется для формирования как когнитивных, так и процедурных компетенций: от изучения анатомии и клинического мышления до отработки инвазивных манипуляций и командного взаимодействия [1, 7].

1.1. Роль VR в медицинском образовании

Роль VR охватывает весь спектр подготовки (табл. 1): от базового и клинического обучения студентов до программ ординатуры, последипломного образования и непрерывного профессионального развития [5, 8]. В клинической деятельности VR находит применение в предоперационном планировании, тренинге перед высокорисковыми вмешательствами и многопользовательских сценариях. В реабилитации VR-технологии применяют для моторного и когнитивного восстановления, управления болью и тревогой [9].

Табл. 1. Применение VR на этапах непрерывного медицинского образования.

Этап подготовки	Ключевые цели использования VR	Формируемые компетенции
Додипломное образование (студенты медвузов)	Визуализация анатомии и патологии; безопасный переход от теории к клинике	Базовые клинические навыки; пространственное понимание анатомии; эмпатия и коммуникация
Постдипломное образование (ординаторы)	Отработка специализированных алгоритмов; тренинг в условиях высокого риска	Инвазивные манипуляции; принятие решений в экстренных ситуациях; командное взаимодействие (CRM)
НПР и практика (врачи, средний медперсонал)	Поддержание квалификации; освоение новых клинических протоколов	Редкие клинические случаи; работа с новым оборудованием; межпрофессиональное взаимодействие

1.2. Современные VR-платформы в медицинском образовании

Современные VR-платформы в медицинском образовании включают широкий спектр решений (табл. 2): от настольных и неиммерсивных систем до полноценных иммерсивных симуляторов с использованием шлемов виртуальной

реальности (HMD) и хаптической обратной связи [3, 10]. VR сопоставима по образовательным результатам с высокореалистичными манекенами при большей масштабируемости и потенциальной экономической эффективности [10, 11].

Табл. 2. Технологический спектр VR-платформ в медицине.

Тип технологии	Характеристика	Область применения
Настольные/неиммерсивные VR (Desktop VR)	Обычные мониторы, клавиатура/мышь	Виртуальные пациенты, изучение теории, массовое дистанционное обучение
Иммерсивные VR (HMD-based)	Шлемы VR, контроллеры движения (6DoF)	Отработка алгоритмов, работа в обстановке операционной/палаты
VR с хаптической связью	Силовая обратная связь (перчатки, манипуляторы)	Хирургия, стоматология, инвазивные процедуры
Метавселенная и XR	Многопользовательские среды, аватары	Командные тренинги, межпрофессиональное обучение, удаленное наставничество

1.3. География и практика внедрения VR-технологий

Глобальный ландшафт применения VR в медицинском образовании характеризуется неравномерностью: в странах Запада акцент смещен на стандартизацию и интеграцию в учебные планы, тогда как в Азии и России наблюдается активный рост собственных разработок [12, 13]. Изучив опыт США, Европы, Азии и России были определены ключевые факторы влияющие на уровень и масштаб интеграции технологии виртуальной реальности (табл.3).

Северная Америка и Европа остаются лидерами по системному внедрению VR-технологий. В США и Канаде VR-технологии стали де-факто стандартом в симуляционных центрах при крупных университетах. Европейский опыт (Великобритания, Германия, Нидерланды) отличается фокусом на доказательной медицине: VR-курсы проходят валидацию на соответствие национальным клиническим рекомендациям [5].

Азиатский регион демонстрирует уникальный подход, сочетающий VR с искусственным интеллектом (ИИ). В 2024 г. исследователи Университета Цинхуа открыли «Больницу-агент» (Agent Hospital) — полностью виртуальную среду, где роль врачей и пациентов выполняют интеллектуальные агенты на базе больших языковых моделей (LLM) [14, 15]. Интеграция ИИ позволяет масштабировать обучение до уровня, недоступного традиционным методам [16, 17].

В Российской Федерации внедрение VR активно поддерживается ведущими медицинскими вузами и отечественными разработчиками. Компания «Эйдос-Медицина» (Казань) разрабатывает VR-модули для хирургии и гинекологии с тактильной отдачей. Первый МГМУ им. И. М. Сеченова реализует специализированные программы на «Цифровой кафедре», РНИМУ им. Н. И. Пирогова интегрировал VR-комплексы в систему непрерывного медицинского образования (НМО). С 2022 г. VR-станции проходят апробацию в рамках Объективного структурированного клинического экзамена (ОСКЭ). Казанский федеральный университет создал серию VR-тренажеров для обучения хирургическим операциям (трахеостомия, аппендэктомия, краниотомия) [18].

Табл. 3. Факторы успешной интеграции виртуальной реальности (экосистема внедрения).

Компонент экосистемы	Необходимые элементы
Инфраструктура	Аппаратное обеспечение (шлемы, ПК); программное обеспечение (лицензии, обновления); техническая поддержка
Методология	Интеграция в учебные планы; сценарии, соответствующие клиническим рекомендациям; валидированные инструменты оценки
Человеческий капитал	Подготовка преподавателей (фасилитация, дебрифинг); цифровая грамотность студентов; административная поддержка

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ VR В МЕДИЦИНСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

Внедрение VR в медицинское образование базируется на фундаментальных педагогических теориях, обосновывающих переход от пассивного восприятия информации к активному конструированию знаний [19, 20]. Доминирующими концепциями, объясняющими эффективность VR, являются конструктивизм, теория опытного обучения Дэвида Колба и теория когнитивной нагрузки [21, 22].

2.1. Педагогические модели

Конструктивистский подход предполагает, что обучающиеся активно формируют знания через взаимодействие со средой. VR создает условия для этого процесса, позволяя манипулировать анатомическими объектами и клиническими сценариями [19]. Теория опытного обучения Колба построена на цикле из четырех этапов: получение конкретного опыта, рефлексивное наблюдение, абстрактная концептуализация и активное экспериментирование. VR поддерживает именно те этапы — «конкретный опыт» и «активное экспериментирование», которые трудно реализовать в традиционной лекционной среде [19, 20].

Табл. 4. Педагогические теории и функциональные возможности VR в медицине.

Педагогическая теория	Ключевой принцип	Реализация в VR-среде
Конструктивизм	Знание конструируется через активное действие	Интерактивная манипуляция инструментами, совершение и исправление ошибок в безопасной среде
Опытное обучение (D. Kolb)	Обучение через цикл «Действие — рефлексия»	Многократное повторение процедуры с последующим мгновенным дебрифингом
Ситуативное обучение	Обучение наиболее эффективно в том контексте, где знания применяются	Высокореалистичный контекст (операционная, палата интенсивной терапии)

Проблемно-ориентированное обучение (PBL)	Обучение через решение открытых проблем	Сценарии виртуальных пациентов с ветвлением, требующие дифференциальной диагностики
--	---	---

Критически важным аспектом проектирования VR является теория когнитивной нагрузки (Cognitive Load Theory, CLT). Согласно CLT, рабочая память человека ограничена и эффективность обучения зависит от баланса трех типов нагрузки: внутренней (сложность материала), внешней (интерфейс, отвлекающие факторы) и релевантной (усилия на осмысление) [21, 22].

Плохо спроектированный VR перегружает студента внешней нагрузкой (сложное управление контроллерами, киберболезнь), оставляя для релевантной обработки информации лишь 10% когнитивных ресурсов. Качественный VR с интуитивным интерфейсом снижает внешнюю нагрузку до 5–10%, высвобождая более 50% ресурсов для непосредственного обучения (табл. 5). Качество UX/UI-дизайна VR-системы представляет собой фундаментальное условие для реализации образовательного потенциала технологии [21, 22].

Табл. 5. Распределение когнитивной нагрузки в VR-системах разного качества.

Параметр	Сценарий А: плохо спроектированный VR	Сценарий Б: качественный VR
Внешняя нагрузка	50% (сложное управление, киберболезнь, непонятный интерфейс)	5–10% (интуитивный интерфейс)
Внутренняя нагрузка	40% (сложность медицинского материала)	40% (сложность медицинского материала)
Релевантная нагрузка	~10% — обучение практически заблокировано	50–55% — эффективное обучение

2.2. Уровни иммерсивности

Эффективность теоретических моделей варьируется в зависимости от уровня иммерсивности (табл. 6). Исследования не всегда подтверждают прямую

корреляцию «чем выше иммерсивность, тем лучше результат»: для базовых знаний анатомии часто достаточно низкоиммерсивных систем, тогда как для хирургических навыков критична высокая иммерсивность с тактильной связью [23].

Табл. 6. Классификация уровней иммерсивности VR-систем.

Уровень	Технологическая база	Область оптимального применения
Низкоиммерсивный (Desktop VR)	Монитор ПК, мышь, клавиатура	Изучение теоретических алгоритмов, виртуальные пациенты, массовое дистанционное обучение
Полуиммерсивный	Большие экраны, проекционные системы (CAVE), 3D-очки	Групповые занятия, демонстрация анатомии в аудитории
Высокоиммерсивный (Fully Immersive)	Шлемы (HMD) + контроллеры, стереоскопическое зрение 360°	Отработка мануальных навыков, стресс-тренинги, хирургические симуляции

3. ПРИМЕНЕНИЕ VR В ОБЛАСТИ АКУШЕРСТВА И ГИНЕКОЛОГИИ

Специфика акушерства и гинекологии требует от специалистов владения тактильно сложными мануальными навыками, способности принимать критические решения в условиях острого дефицита времени и умения работать в мультидисциплинарной команде. Традиционное обучение сталкивается с этическими ограничениями, особенно при редких ургентных состояниях (дистоция плечиков, послеродовые кровотечения) [6]. VR-технологии позволяют визуализировать скрытые биомеханические процессы и обеспечивают безопасную отработку навыков.

3.1. Клинические сценарии и навыки

Применение VR охватывает широкий спектр задач (см. табл. 7), которые можно классифицировать по домену (акушерство/гинекология) и типу навыка. В акушерстве ключевым преимуществом VR является возможность «рентгеновского зрения» – визуализации прохождения плода через родовой канал с одновременным сопоставлением с наружными приемами акушера. 6, 26].

Табл. 7. Ключевые направления применения VR в акушерстве и гинекологии.

Домен	Тип сценария	Отрабатываемые навыки
Акушерство	Физиологические роды	Визуализация биомеханизма родов; оценка раскрытия шейки матки; коммуникация с роженицей
Акушерство	Неотложные состояния	Дистоция плечиков: алгоритм HELPERR; послеродовое кровотечение: командное взаимодействие; кесарево сечение: послойная диссекция тканей
Гинекология	Малоинвазивная хирургия	Лапароскопия: психомоторные навыки (координация глаз-рука); гистероскопия: навигация в полости матки
Гинекология	Амбулаторный прием	Введение ВМС, биопсия шейки матки; консультирование пациентов

3.2. Специализированные платформы и доказательная база

Современный рынок предлагает решения различной степени сложности: неиммерсивные экранные симуляторы (Screen-based), эффективные для когнитивных задач, и полностью иммерсивные системы с тактильной обратной связью (haptics), критически важные для хирургии [24]. Платформы уровня Lucina (AR/VR-манекены), FundamentalVR и VirtaMed позволяют отрабатывать высокоточные движения инструментов с субмиллиметровой точностью.

Рандомизированные контролируемые исследования (РКИ) подтверждают высокую эффективность VR. Врачи, прошедшие VR-тренинг по ведению дистocie плечиков, демонстрировали достоверно лучшее соблюдение алгоритма действий и меньшее время «диагноз – извлечение» по сравнению с группой традиционного обучения [25]. В гинекологии VR-тренинг перед лапароскопическими операциями ассоциирован со снижением интраоперационных ошибок [24]. Симуляции «глазами пациента» повышают уровень осознанности и коммуникативной компетентности персонала [26].

3.3. Преимущества VR-обучения в акушерстве и гинекологии

Внедрение VR в образовательную практику обусловлено рядом фундаментальных преимуществ перед традиционными методами (лекции, пластиковые манекены, обучение на животных) [10, 14]. Эти преимущества можно сгруппировать в три категории (см. табл. 8): дидактические, экономические и клинические.

Табл. 8. Преимущества VR-обучения.

Клиническая безопасность	Дидактическое качество	Организационная эффективность
«Право на ошибку»: студент может совершить фатальную ошибку в VR, чтобы не совершить ее в жизни	Визуализация невидимого: «рентгеновское зрение» — просмотр биомеханизма родов изнутри	Доступность редких случаев: гарантированная встреча с патологией (эклампсия, дистocie)
Нулевой риск для пациента при отработке навыков	Объективная оценка: точность движений, тремор и время реакции без предвзятости	Стандартизация опыта: одинаково качественный сценарий для всех студентов
Снижение стресса: адаптация к критическим ситуациям до выхода в клинику	Осознанная практика (Deliberate Practice): неограниченное число повторений	Экономия ресурсов на расходных материалах и времени преподавателей

Сравнительный анализ методов обучения (табл. 9) показал ключевые преимущества VR перед традиционными форматами с точки зрения доступности

редких клинических случаев, анатомической наглядности, характера обратной связи и логистики.

Формирование практических навыков и психомоторики. Ключевое преимущество VR-симуляции — возможность выработки мышечной памяти без риска для пациента. В отличие от пассивного наблюдения за клинической манипуляцией, симуляционная среда требует от обучающегося активного принятия решений на каждом этапе. Система автоматически регистрирует объективные параметры выполнения: траекторию движения инструментов, силу давления на ткани, время прохождения каждого этапа — что исключает субъективность оценки со стороны экзаменатора. По данным ряда исследований, кривая освоения навыка (learning curve) при VR-обучении имеет более высокий градиент, позволяя обучающимся достигать порогового уровня компетентности в более короткие сроки [27, 29].

Обеспечение безопасности и формирование культуры анализа ошибок. В акушерстве цена ошибки может иметь фатальные последствия для жизни матери и плода. VR создаёт контролируемую среду («sandbox»), в которой ошибка не только допустима, но и методически необходима: обучающийся многократно воспроизводит критические манипуляции — наложение акушерских щипцов, тракцию при осложнённых предлежаниях — наблюдает смоделированные последствия и корректирует тактику. Такой подход снижает тревожность перед реальной клинической практикой и повышает уверенность специалиста в нестандартных ситуациях [14].

Развитие навыков командного взаимодействия (CRM). Неотложные акушерские состояния — массивное кровотечение, эклампсия — требуют слаженных действий мультидисциплинарной бригады. Многопользовательские VR-платформы (multi-user VR) обеспечивают совместную работу акушера, анестезиолога и акушерки в едином виртуальном пространстве вне зависимости от их физического расположения. Это позволяет целенаправленно отрабатывать компетенции Crisis Resource Management (CRM): лидерство в кризисной ситуации, распределение ролей и замкнутый цикл коммуникации — элементы, практически не реализуемые в рамках традиционного аудиторного обучения [31].

Сравнительный анализ методов обучения (табл. 9) показал ключевые преимущества VR перед традиционными форматами с точки зрения доступности

редких клинических случаев, анатомической наглядности, характера обратной связи и логистики.

Табл. 9. Сравнительный анализ эффективности методов обучения.

Параметр	Традиционное обучение	VR-обучение
Доступность редких случаев	Ограничена (зависит от потока пациентов)	Гарантирована. Любой сценарий доступен по запросу
Анатомическая наглядность	Статичные атласы или жесткие манекены	Динамическая 3D-визуализация в реальном времени
Обратная связь	Отсроченная, субъективная (от преподавателя)	Мгновенная, объективная (система подсказывает ошибки)
Логистика	Требует присутствия преподавателя и расходных материалов	Автономная работа студента, экономия на биологических моделях

4. ПРОБЛЕМЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ ВНЕДРЕНИЯ VR В МЕДИЦИНСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

Несмотря на доказанную эффективность, полномасштабная интеграция VR сталкивается с рядом существенных барьеров, которые можно разделить на три группы: технико-экономические, физиолого-психологические и организационно-этические [13, 20].

Табл. 10. Сравнительный анализ барьеров внедрения VR.

Категория барьера	Суть проблемы	Возможные пути решения
Финансовые	Высокая стоимость HMD-гарнитур и разработки сценариев; необходимость регулярного обновления оборудования	Использование моделей подписки (SaaS); создание межуниверситетских консорциумов для совместного использования контента
Технические	Сложности интеграции VR в LMS вуза; низкое качество	Переход на автономные шлемы (Standalone VR); стандартизация

	графики в дешевых симуляторах	API для медицинских симуляторов
Кадровые	Цифровая неграмотность преподавателей; сопротивление изменениям	Программы подготовки преподавателей (Train-the-Trainer); введение должности технического фасилитатора

4.1. Технические, финансовые и кадровые барьеры

Основным препятствием является высокая начальная стоимость внедрения. Исследования показали, что VR становится экономически выгоднее традиционного обучения при охвате более 375 обучающихся, однако стартовые инвестиции в оборудование и лицензирование контента остаются непосильными для региональных вузов [27, 13]. Дополнительную нагрузку создают отсутствие стандартизированных методических руководств и необходимость постоянной технической поддержки [12, 13].

4.2. Физиологические и психологические аспекты (киберболезнь)

Специфической проблемой иммерсивной VR является киберболезнь, симптомы тошноты, головокружения, дезориентации, которые испытывают от 22% до 80% пользователей. Феномен обусловлен сенсорным конфликтом между зрительной системой и вестибулярным аппаратом [28, 29]. Клиническими предикторами киберболезни являются возраст старше 40 лет, высокий уровень тревожности и сложность сценария [30]. В контексте акушерских симуляций, требующих точных мануальных действий, симптомы киберболезни могут снижать когнитивные способности и искажать результаты оценки [31, 29].

4.3. Этические и нормативные вызовы

Этические проблемы VR-обучения связаны с глубоким эмоциональным воздействием иммерсивной среды. Высокая реалистичность сценариев может вызывать у неподготовленных студентов психологический дистресс, требующий дебрифинга [20, 32]. Существует также риск формирования «игрового» отношения к пациенту при отсутствии сопровождающей рефлексии. Открытым остается вопрос конфиденциальности биометрических данных, собираемых VR-гарнитурами, защита которых пока слабо регламентирована [32].

Успешное внедрение VR требует комплексного подхода: разработки протоколов безопасности (ограничение сессий до 20–30 мин), этических кодексов использования симуляций и программ адаптации преподавателей.

5. АРХИТЕКТУРА СОВРЕМЕННЫХ VR-ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Эффективность VR-тренажеров определяется не только качеством визуализации, но и архитектурой системы управления учебным процессом. Анализ современных платформ выявил конвергенцию к многорежимной архитектуре, обеспечивающей постепенное наращивание сложности при снижении уровня поддержки системы [33].

5.1. Функциональные режимы обучения

Типовая архитектура реализует принцип «постепенного снятия поддержки» (scaffolding) и включает следующие четыре последовательных режима.

- Калибровочный режим адаптирует интерфейс к индивидуальным характеристикам пользователя, что критично для последующей объективной оценки навыков [8, 24].
- Демонстрационный режим использует записанные траектории экспертов с возможностью изменения ракурса и замедления. Просмотр ключевых моментов манипуляции сокращает время освоения навыка по сравнению с наблюдением только внешних движений [33].
- Управляемое выполнение предполагает активное участие обучающегося при постоянной коррекции через визуальные подсказки, аудиосигналы и тактильную обратную связь. Критерием перехода к следующему режиму является достижение порогового уровня точности [11, 24].
- Автономное выполнение моделирует реальные условия без подсказок. Система пассивно регистрирует действия и детектирует критические ошибки (чрезмерное усилие, нарушение протокола), принудительно останавливая сценарий при их обнаружении [7, 16].

Аналитический режим обеспечивает визуализацию записанных данных с синхронным воспроизведением действий обучающегося и эталонной модели эксперта. Система классифицирует ошибки и генерирует персонализированные рекомендации [17, 34].

5.2. Технологический стек разработки VR-тренажеров

Доминирующими платформами разработки являются Unity (C#) и Unreal Engine (C++). Unity занимает лидирующие позиции благодаря обширной экосистеме и нативной поддержке XR через пакет XR Interaction Toolkit; Unreal Engine выбирается для проектов, требующих фотореалистичной визуализации анатомических структур [13, 15]. Кроссплатформенная разработка обеспечивается стандартом OpenXR 1.0, унифицирующим API для взаимодействия с различными VR-гарнитурами (Meta Quest, Pico, HTC Vive).

Физическое моделирование мягких тканей реализуется методами конечных элементов (FEM), mass-spring-системами или position-based dynamics (PBD). Для акушерских симуляторов расчет биомеханических взаимодействий плода с родовым каналом должен выполняться не более чем за 10–15 мс на кадр для поддержания 90 кадров/с [24, 35].

Интеграция тактильной обратной связи реализуется через специализированные устройства (Geomagic Touch, HaptX Gloves). Пространственный звук критичен для создания реалистичной акустической среды операционной или родильного зала [15, 24].

5.3. Модуль мониторинга и система оценки

Параллельно с пользовательским интерфейсом функционирует канал данных для инструктора, включающий визуализацию текущего положения рук обучающегося, панель метрик качества и возможность ручной остановки сценария [36].

Система автоматической оценки реализует многоуровневую обработку данных с частотой 90–120 Гц. Интегральная оценка формируется как взвешенная сумма временных, кинематических метрик, метрик взаимодействия с анатомией и метрик соблюдения протокола. На ее основе система автоматически классифицирует уровень навыка [17, 34].

5.4. Интеграция с системами управления обучением

VR-тренажеры функционируют как компоненты более широкой учебной экосистемы и требуют интеграции с системами управления обучением (Learning Management Systems, LMS). Типовой протокол включает аутентификацию поль-

зователя, экспорт данных сессии в LMS и автоматизированное определение готовности к переходу на следующий этап [12, 36]. Рекомендуемая последовательность: теоретический модуль в LMS → калибровка и демонстрация в VR → управляемое выполнение → отработка на манекене → автономное выполнение в VR → клиническая практика.

5.5. Параметры сессий и когнитивная нагрузка

На основе исследований когнитивной нагрузки и проблемы киберболезни определены рекомендуемые параметры работы: длительность непрерывной сессии для начального уровня 20–30 мин, для продвинутого до 45 мин; оптимальная периодичность занятий 2–3 раза в неделю с минимальным интервалом 24 ч для консолидации моторной памяти [20, 28].

6. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ВНЕДРЕНИЮ

Интеграция VR в систему медицинского образования России находится на этапе перехода от точечных экспериментов к системному внедрению. Перспективы развития связаны с созданием гибридных образовательных сред, объединяющих VR с ИИ, и с расширением нормативного признания цифровых симуляций [16, 17]. Постепенное включение VR-модулей в структуру образовательных программ, особенно в части отработки навыков высокого риска, представляется обоснованным направлением развития [12, 35].

6.1. Модели финансирования и инфраструктура

Основным барьером остается высокая стоимость оснащения. Для преодоления финансового разрыва целесообразен переход от модели «каждый вуз закупает самостоятельно» к сетевым формам взаимодействия. В табл. 11 систематизированы возможные пути решения проблем развития VR.

Табл. 11. Организационные подходы к развитию VR в медвузах.

Компонент	Текущая проблема	Возможный подход
Оборудование	Устаревание парка ПК каждые 3–4 года; проводные системы ограничивают мобильность	Переход на автономные шлемы (Standalone VR) с облачным рендерингом
Контент	Разрозненные сценарии низкого качества; отсутствие валидации	Развитие централизованных репозиторий верифицированного контента; сетевое взаимодействие вузов
Кадры	Дефицит преподавателей, владеющих методикой VR-дебрифинга	Включение модуля «Цифровая дидактика» в программы повышения квалификации ППС

Перспективной является модель «Центров коллективного пользования» (VR-Hubs), обслуживающих несколько региональных вузов. Финансирование может осуществляться через грантовые программы и государственно-частное партнерство с производителями медоборудования [12, 37].

6.2. Расширение доступа и мониторинг качества

Для региональных вузов VR становится инструментом выравнивания качества образования: студент в удаленном регионе получает доступ к той же виртуальной операционной, что и студент столичного центра. Внедрение аналитики данных (Learning Analytics) позволяет мониторить прогресс обучения студентов на основе объективных показателей точности движений, времени реакции, тремора рук [37].

Целесообразна разработка методических рекомендаций по учету часов VR-симуляции в трудоемкости производственной практики, а также формирование требований к валидности медицинских VR-сценариев в части соответствия клиническим рекомендациям. Включение VR как дополнительного инструмента «претренинга» перед клинической практикой согласуется с принципами доказательного симуляционного обучения [38].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ показал, что технологии виртуальной реальности перешли из разряда инновационных экспериментов в статус доказательного инструмента профессиональной подготовки [1, 4]. VR реализует принципы конструктивизма и опытного обучения, предоставляя обучающимся возможность активного взаимодействия с клинической средой без риска для пациента [19].

В акушерстве и гинекологии VR-технологии исключительно важны. Высокие риски материнской и перинатальной смертности, а также этическая невозможность обучения на реальных пациентах в критических ситуациях делают симуляцию необходимым элементом подготовки специалистов [6, 25]. Современные иммерсивные платформы с тактильной обратной связью позволяют визуализировать скрытые биомеханические процессы родов и формировать устойчивую мышечную память, что подтверждается данными РКИ [25, 33].

Широкое внедрение VR сдерживается рядом барьеров: экономической нагрузкой на закупку оборудования, дефицитом квалифицированных преподавателей и проблемами киберболезни. Расширение практики сетевого взаимодействия вузов, развитие централизованных репозиторий верифицированных сценариев и методическая подготовка преподавательского состава являются необходимыми условиями системного внедрения технологии [12, 13].

Будущее медицинского образования неразрывно связано с конвергенцией VR и искусственного интеллекта, открывающей возможности для создания адаптивных персонализированных образовательных сред [16, 17]. Расширение практики признания результатов виртуальной симуляции в системе аккредитации специалистов представляется перспективным направлением, способствующим трансформации потенциала VR в реальное повышение качества медицинской помощи.

Благодарности

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского государственного медицинского университета («ПРИОРИТЕТ-2030»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tene T., Vique López D.F., Valverde Aguirre P.E., Orna Puente L.M., Vacacela Gomez C.* Virtual Reality and Augmented Reality in Medical Education: An Umbrella Review // *Front. Digit. Health.* 2024. Vol. 6. Art. 1365345.
<https://doi.org/10.3389/fdgth.2024.1365345>
2. *Mørk G., Bonsaksen T., Larsen O.S., Kunnikoff H.M., Lie S.S.* Virtual Reality Simulation in Undergraduate Health Care Education Programs: Usability Study // *JMIR Med. Educ.* 2024. Vol. 10, No. 1. Art. e56844. <https://doi.org/10.2196/56844>
3. *Al-Balas M., Al-Balas H.I., Jaber H.M., Obeidat K., Al-Balas H., Aborajoo E.A., Al-Taher R., Al-Balas B.* Distance Learning in Clinical Medical Education Amid COVID-19 Pandemic in Jordan: Current Situation, Challenges, and Perspectives // *BMC Med. Educ.* 2020. Vol. 20. Art. 341. DOI: 10.1186/s12909-020-02257-4
4. *Liu Y.Q.* Virtual Reality: The Bridge Between Medical Education and Clinical Practice // *World J. Clin. Cases.* 2024. Vol. 12, No. 32. P. 6575–6579.
<https://doi.org/10.12998/wjcc.v12.i32.6575>
5. *Lie S.S., Helle N., Sletteland N.V., Vikman M.D., Bonsaksen T.* Implementation of Virtual Reality in Health Professions Education: A Scoping Review // *JMIR Med. Educ.* 2023. Vol. 9, No. 1. Art. e41589. <https://doi.org/10.2196/41589>
6. *Visan I.G., Toma C.V., Petca R., Petrescu G.E.D., Noditi A.-R., Petca A.* Exploring the Efficacy of Virtual Reality Training in Obstetric Procedures and Patient Care—A Systematic Review // *Healthcare.* 2025. Vol. 13, No. 7. Art. 784.
<https://doi.org/10.3390/healthcare13070784>
7. *Talan J., Forster M., Joseph L., Pradhan D.* Exploring the Role of Immersive Virtual Reality Simulation in Health Professions Education: Thematic Analysis // *JMIR Med. Educ.* 2025. Vol. 11, No. 1. Art. e62803. <https://doi.org/10.2196/62803>
8. *Nyiramana Mukamurera P.* The Use of Virtual Reality in Medical Training // *Res. Output J. Biol. Appl. Sci.* 2024. Vol. 4, No. 1. P. 12–15.
<https://doi.org/10.59298/ROJBAS/2024/411215>
9. *Zhou S., Gromala D., Wang L.* Ethical Challenges of Virtual Reality Technology Interventions for the Vulnerabilities of Patients With Chronic Pain: Exploration of Technician Responsibility // *J. Med. Internet Res.* 2023. Vol. 25. Art. e49237.
<https://doi.org/10.2196/49237>
10. *Foronda C.L., Gonzalez L., Meese M.M., Slamon N., Baluyot M., Lee J., Aebersold M.* A Comparison of Virtual Reality to Traditional Simulation in Health Professions

Education: A Systematic Review // *Simul. Healthc.* 2024. Vol. 19, No. 1S. P. S90–S97.
<https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000745>

11. *Jiang Z., Hang H., Wu X., Xiang S., Pan S.* Methodological Innovation in Evaluating the Cost-Effectiveness of Simulation Training Combining Transfer Effectiveness and Change-Point Analysis // *J. Med. Educ. Curric. Dev.* 2025. Vol. 12. Art. 23821205251368247. <https://doi.org/10.1177/23821205251368247>

12. *Mojtahedzadeh R., Najimi A., Alizadeh M., Mohammadi A.* Identifying Key Drivers Affecting the Future of Virtual Reality in Medical Education: An Anticipated Framework // *J. Educ. Health Promot.* 2025. Vol. 14. Art. 97.
https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_1874_23

13. *Abbas J.R., Gantwerker E., Volk M., Payton T., McGrath B.A., Tolley N., Isba R., Bruce I.A.* Describing, Evaluating, and Exploring Barriers to Adoption of Virtual Reality: An International Modified Delphi Consensus Study // *J. Med. Extended Reality.* 2024. Vol. 1, No. 1. P. 202–214. <https://doi.org/10.1089/jmxr.2024.0022>

14. 'World's First' AI Hospital with Virtual Doctors Opens in China // *Robotics & Automation* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.roboticsandautomationmagazine.co.uk/news/healthcare/worlds-first-ai-hospital-with-virtual-doctors-opens-in-china.html>

15. China Opens 1st AI Hospital Town to Treat Patients in Virtual World // *Anadolu Agency* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aa.com.tr/en/artificial-intelligence/china-opens-1st-ai-hospital-town-to-treat-patients-in-virtual-world/3234256>

16. *Mallek F., Mazhar T., Shah S.F.A., Ghadi Y.Y., Hamam H.* A Review on Cultivating Effective Learning: Synthesizing Educational Theories and Virtual Reality for Enhanced Educational Experiences // *PeerJ Comput. Sci.* 2024. Vol. 10. Art. e2000.
<https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2000>

17. *Goswami S., Badwaik G., Borka A., Deshmukh P.* Integration of Artificial Intelligence and Virtual Reality in Undergraduate Medical Education: A Review of Emerging Trends and Applications // *Eur. J. Cardiovasc. Med.* 2025. Vol. 15, No. 6. P. 219–221.

18. *Шараева Р.А., Кузурасова В.В., Галиева Р.Р., Зинченко С.В.* Подходы к проектированию виртуальных тренажеров хирургических операций // *Электронные библиотеки.* 2022. Т. 25, № 5. С. 489–532.
<https://doi.org/10.26907/1562-5419-2022-25-5-489-532>

19. *Abbas Shah S.F., Mazhar T., Shahzad T., Khan M.A., Ghadi Y.Y., Hamam H.* Integrating Educational Theories with Virtual Reality: Enhancing Engineering Education and VR Laboratories // *Soc. Sci. Humanit. Open*. 2024. Vol. 10. Art. 101207. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.101207>

20. *Kaggwa M.M., Agboinghale P., Marginean D., Chaimowitz G.A., Olagunju A.T.* Embracing Virtual Reality in Medical Education // *Discov. Educ.* 2025. Vol. 4. Art. 129. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00543-1>

21. *Smith C., Rafferty K., Sharma V., Rainey E.* Effective Mitigation of Cognitive Load in Complex Mixed Reality Tasks // *Proceedings of the 20th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP 2025)*. 2025. Vol. 1. P. 506–517. <https://doi.org/10.5220/0013373700003912>

22. *De Witte B., Reynaert V., Kieken D., Jabbour J., Demarey C., Dumoulin A., Possik J.* Immersive Virtual Reality Learning and Cognitive Load: A Multiple-Day Field Study // *Comput. Hum. Behav.* 2026. Vol. 176. Art. 108853. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2025.108853>

23. *Pearson M., Khatiwada N., Chilaka D.A.U., Omid F.* Integration of Immersive Virtual Environments (IVEs) in Healthcare Research and Design // *European Healthcare Design* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.european-healthcaredesign.eu/news-media/integration-of-immersive-virtual-environments-ives-in-healthcare-research-and-design> (дата обращения: 20.02.2026)

24. *Azher S., Mills A., He J., Hyjazie T., Tokuno J., Quaiattini A., Harley J.M.* Findings Favor Haptics Feedback in Virtual Simulation Surgical Education: An Updated Systematic and Scoping Review // *Surg. Innov.* 2024. Vol. 31, No. 3. P. 331–341. <https://doi.org/10.1177/15533506241238263>

25. *Falcone V., Catic A., Heinzl F., Steinbauer P., Wagner M., Mikula F., Dorittke T., Roessler B., Farr A.* Impact of a Virtual Reality-Based Simulation Training for Shoulder Dystocia on Human and Technical Skills Among Caregivers: A Randomized-Controlled Trial // *Sci. Rep.* 2024. Vol. 14. Art. 7898. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57785-6>

26. *Raposo R., Vairinhos M., Laska-Leśniewicz A., Sztobryn-Giercuskiewicz J.* Increasing Awareness and Empathy Among University Students Through Immersive Exercises – Testing of the Virtual Reality Application: A Pilot Study // *Med. Pr.* 2023. Vol. 74, No. 3. P. 187–197. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.01391>

27. *Mergen M., Graf N., Meyerheim M.* Reviewing the Current State of Virtual Reality Integration in Medical Education – A Scoping Review // BMC Med. Educ. 2024. Vol. 24. Art. 788. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05777-5>

28. VR Cybersickness in Healthcare Simulation: Causes, Mitigation, and Impact // HealthySimulation.com [Электронный ресурс]. URL: <https://www.healthysimulation.com/vr-cybersickness-healthcare-simulation/> (дата обращения: 21.04.2025)

29. *Ng A., Inagaki M., Antinucci R., Sockalingam S., Abdool P.S.* Determining the Severity and Prevalence of Cybersickness in Virtual Reality Simulations in Psychiatry // Adv. Simul. 2025. Vol. 10. Art. 32. <https://doi.org/10.1186/s41077-025-00358-y>

30. *Kim H., Kim D.J., Chung W.H., Park K.-A., Kim J.D.K., Kim D., Kim K., Jeon H.J.* Clinical Predictors of Cybersickness in Virtual Reality (VR) Among Highly Stressed People // Sci. Rep. 2021. Vol. 11. Art. 12139. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91573-w>

31. *Li M.* A Comprehensive Review of Virtual Reality in Medical Education // Proceedings of the 2024 International Conference on Education and Multimedia Technology (ICEMT). Atlantis Press, 2024. P. 71–76.

32. *Liu S., Yang J., Zhang C., Zhang J., Wang Q., Zhou R., Zhao Z., Ren S., Yi H., Guo H., Xia J.* Use of a Nonimmersive Virtual Reality System for Clinical Thinking in Obstetric Nursing Education: Mixed Methods Study // J. Med. Internet Res. 2025. Vol. 27. Art. e80951. <https://doi.org/10.2196/80951>

33. *Kane D., Ryan G., Mangina E., McAuliffe F.M.* A Randomized Control Trial of a Virtual Reality Learning Environment in Obstetric Medical Student Teaching // Int. J. Med. Inform. 2022. Vol. 168. Art. 104899. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2022.104899>

34. В Сеченовском университете запустили новый образовательный курс по разработке решений виртуальной и дополненной реальности в медицине // Официальный портал Сеченовского университета [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sechenov.ru/pressroom/news/v-sechenovskom-universitete-zapustili-novyy-obrazovatelnyy-kurs-po-razrabotke-resheniy-virtualnoy-i-/> (дата обращения: 04.08.2025)

35. *Esmaeeli E., Soleimani A., Khorashadizadeh M.S., Shahmoradi L., Nekoonam S., Rezayi S.* A Practical Framework for Developing a Virtual Reality-Based Anatomy Education Application: Key Content and Technical Requirements // Sci. Rep. 2025. Vol. 15. Art. 12536. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96074-8>

36. Лопанчук П.А., Гущин А.В., Ануров М.В., Корнеева Е.В. Интеграция симуляционного обучения в медицинское образование: опыт РНИМУ им. Н.И. Пирогова // Методология и технология непрерывного профессионального образования. 2023. Т. 4, № 16. С. 15–45.

37. VR Training in 2025: Benefits, Best Practices & Industry Use Cases // YORD Studio Blog [Электронный ресурс]. URL: <https://yordstudio.com/vr-training-in-2025-benefits-best-practices-and-industry-use-cases/> (дата обращения: 16.09.2025)

38. Xpeer. Future of Medical Education: AI, VR & Microlearning // LinkedIn [Электронный ресурс]. URL: https://www.linkedin.com/posts/xpeercmc_future-of-medical-education-ai-vr-microlearning-activity-7394682957111857152-SGpG (дата обращения: 21.06.2026)

39. Siddiqui M.F., Jabeen S., Alwazzan A., Vacca S., Dalal L., Al-Haddad B., Jaber A., Ballout F.F., Abou Zeid H.K., Haydamous J., El Hajj Chehade R., Kalmatov R. Integration of Augmented Reality, Virtual Reality, and Extended Reality in Healthcare and Medical Education: A Glimpse into the Emerging Horizon in LMICs—A Systematic Review // J. Med. Educ. Curric. Dev. 2025. Vol. 12. Art. 23821205251342315. <https://doi.org/10.1177/23821205251342315>

40. Li Q., Duan H., Zhou X., Sun X., Tao L., Lu X. The Use of Metaverse in Medical Education: A Systematic Review // Clin. Med. 2025. Vol. 25. Art. 100315. <https://doi.org/10.1016/j.clinme.2025.100315>

41. Setiawan I., Suhoyo Y., Widyandana D., Emilia O. Comparison of Virtual Reality and Mannequin-based Postpartum Hemorrhage Training: A Randomized Controlled Trial // Open Nurs. J. 2025. Vol. 19. Art. e18744346426336. <https://doi.org/10.2174/0118744346426336251001074230>

VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES IN MEDICAL EDUCATION

M. D. Rakhmatullina¹ [0009-0000-4476-8570], Yu. A. Karpeeva² [0009-0005-1632-2914]

¹Kazan Medical University, Kazan, Russia

²Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia

¹milyaushadamirovna@mail.ru, ²leyaleit@gmail.com

Abstract

This article presents a comprehensive analysis of the application of virtual reality (VR) technologies in medical education, with a particular focus on obstetrics and gynecology. It examines the pedagogical rationale for introducing VR (constructivism, Kolb's experiential learning theory, cognitive load theory), modern technological platforms with varying levels of immersion, as well as the geography and practice of introducing VR technologies in leading medical universities in Russia and around the world. Particular attention is paid to specialized VR simulators for practicing obstetric care, emergency obstetric conditions (shoulder dystocia, postpartum hemorrhage), and minimally invasive gynecological interventions. The results of randomized controlled studies confirming the effectiveness of VR training in the formation of psychomotor skills, clinical thinking, and team interaction are presented. The main barriers to the implementation of VR are analyzed: financial, technical, personnel, as well as specific problems of cyber sickness and ethical challenges. Organizational approaches to expanding the use of VR are reviewed: models for the collective use of equipment, the development of verified educational content repositories, and integration with learning management systems. The potential for convergence of VR with artificial intelligence (AI) to create adaptive, personalized educational environments is substantiated.

Keywords: *virtual reality, VR, simulator, medical education, simulation-based learning, obstetrics and gynecology, immersive technologies, clinical thinking, psychomotor skills, cybersickness, digitization of education, artificial intelligence in education.*

Acknowledgment

This paper has been supported by the Kazan Federal University Strategic Academic Leadership Program («PRIORITY-2030»).

REFERENCES

1. Tene T., Vique López D.F., Valverde Aguirre P.E., Orna Puente L.M., Vacacela Gomez C. Virtual Reality and Augmented Reality in Medical Education: An Umbrella Review // *Front. Digit. Health*. 2024. Vol. 6. Art. 1365345. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2024.1365345>
2. Mørk G., Bonsaksen T., Larsen O.S., Kunnikoff H.M., Lie S.S. Virtual Reality Simulation in Undergraduate Health Care Education Programs: Usability Study // *JMIR Med. Educ*. 2024. Vol. 10, No. 1. Art. e56844. <https://doi.org/10.2196/56844>
3. Al-Balas M., Al-Balas H.I., Jaber H.M., Obeidat K., Al-Balas H., Aborajoo E.A., Al-Taher R., Al-Balas B. Distance Learning in Clinical Medical Education Amid COVID-19 Pandemic in Jordan: Current Situation, Challenges, and Perspectives // *BMC Med. Educ*. 2020. Vol. 20. Art. 341. <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02257-4>
4. Liu Y.Q. Virtual Reality: The Bridge Between Medical Education and Clinical Practice // *World J. Clin. Cases*. 2024. Vol. 12, No. 32. P. 6575–6579. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v12.i32.6575>
5. Lie S.S., Helle N., Sletteland N.V., Vikman M.D., Bonsaksen T. Implementation of Virtual Reality in Health Professions Education: A Scoping Review // *JMIR Med. Educ*. 2023. Vol. 9, No. 1. Art. e41589. <https://doi.org/10.2196/41589>
6. Visan I.G., Toma C.V., Petca R., Petrescu G.E.D., Noditi A.-R., Petca A. Exploring the Efficacy of Virtual Reality Training in Obstetric Procedures and Patient Care—A Systematic Review // *Healthcare*. 2025. Vol. 13, No. 7. Art. 784. <https://doi.org/10.3390/healthcare13070784>
7. Talan J., Forster M., Joseph L., Pradhan D. Exploring the Role of Immersive Virtual Reality Simulation in Health Professions Education: Thematic Analysis // *JMIR Med. Educ*. 2025. Vol. 11, No. 1. Art. e62803. <https://doi.org/10.2196/62803>
8. Nyiramana Mukamurera P. The Use of Virtual Reality in Medical Training // *Res. Output J. Biol. Appl. Sci*. 2024. Vol. 4, No. 1. P. 12–15. <https://doi.org/10.59298/ROJBAS/2024/411215>
9. Zhou S., Gromala D., Wang L. Ethical Challenges of Virtual Reality Technology Interventions for the Vulnerabilities of Patients With Chronic Pain: Exploration of Technician Responsibility // *J. Med. Internet Res*. 2023. Vol. 25. Art. e49237. <https://doi.org/10.2196/49237>
10. Foronda C.L., Gonzalez L., Meese M.M., Slamon N., Baluyot M., Lee J., Aebersold M. A Comparison of Virtual Reality to Traditional Simulation in Health Professions

Education: A Systematic Review // *Simul. Healthc.* 2024. Vol. 19, No. 1S. P. S90–S97.
<https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000745>

11. Jiang Z., Hang H., Wu X., Xiang S., Pan S. Methodological Innovation in Evaluating the Cost-Effectiveness of Simulation Training Combining Transfer Effectiveness and Change-Point Analysis // *J. Med. Educ. Curric. Dev.* 2025. Vol. 12. Art. 23821205251368247. <https://doi.org/10.1177/23821205251368247>

12. Mojtahedzadeh R., Najimi A., Alizadeh M., Mohammadi A. Identifying Key Drivers Affecting the Future of Virtual Reality in Medical Education: An Anticipated Framework // *J. Educ. Health Promot.* 2025. Vol. 14. Art. 97.
https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_1874_23

13. Abbas J.R., Gantwerker E., Volk M., Payton T., McGrath B.A., Tolley N., Isba R., Bruce I.A. Describing, Evaluating, and Exploring Barriers to Adoption of Virtual Reality: An International Modified Delphi Consensus Study // *J. Med. Extended Reality.* 2024. Vol. 1, No. 1. P. 202–214. <https://doi.org/10.1089/jmxr.2024.0022>

14. 'World's First' AI Hospital with Virtual Doctors Opens in China // *Robotics & Automation.*
URL: <https://www.roboticsandautomationmagazine.co.uk/news/healthcare/worlds-first-ai-hospital-with-virtual-doctors-opens-in-china.html>

15. China Opens 1st AI Hospital Town to Treat Patients in Virtual World // *Anadolu Agency.* URL: <https://www.aa.com.tr/en/artificial-intelligence/china-opens-1st-ai-hospital-town-to-treat-patients-in-virtual-world/3234256>

16. Mallek F., Mazhar T., Shah S.F.A., Ghadi Y.Y., Hamam H. A Review on Cultivating Effective Learning: Synthesizing Educational Theories and Virtual Reality for Enhanced Educational Experiences // *PeerJ Comput. Sci.* 2024. Vol. 10. Art. e2000.
<https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2000>

17. Goswami S., Badwaik G., Borka A., Deshmukh P. Integration of Artificial Intelligence and Virtual Reality in Undergraduate Medical Education: A Review of Emerging Trends and Applications // *Eur. J. Cardiovasc. Med.* 2025. Vol. 15, No. 6. P. 219–221.

18. Sharaeva R.A., Kugurakova V.V., Galieva R.R., Zinchenko S.V. Approaches to the Development of Virtual Surgical Training Simulators // *Russian Digital Libraries Journal.* 2022. Vol. 25, No. 5. P. 489–532.
<https://doi.org/10.26907/1562-5419-2022-25-5-489-532>

19. *Abbas Shah S.F., Mazhar T., Shahzad T., Khan M.A., Ghadi Y.Y., Hamam H.* Integrating Educational Theories with Virtual Reality: Enhancing Engineering Education and VR Laboratories // *Soc. Sci. Humanit. Open*. 2024. Vol. 10. Art. 101207. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.101207>

20. *Kaggwa M.M., Agboinghale P., Marginean D., Chaimowitz G.A., Olagunju A.T.* Embracing Virtual Reality in Medical Education // *Discov. Educ.* 2025. Vol. 4. Art. 129. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-00543-1>

21. *Smith C., Rafferty K., Sharma V., Rainey E.* Effective Mitigation of Cognitive Load in Complex Mixed Reality Tasks // *Proceedings of the 20th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP 2025)*. 2025. Vol. 1. P. 506–517. <https://doi.org/10.5220/0013373700003912>

22. *De Witte B., Reynaert V., Kieken D., Jabbour J., Demarey C., Dumoulin A., Possik J.* Immersive Virtual Reality Learning and Cognitive Load: A Multiple-Day Field Study // *Comput. Hum. Behav.* 2026. Vol. 176. Art. 108853. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2025.108853>

23. *Pearson M., Khatiwada N., Chilaka D.A.U., Omid F.* Integration of Immersive Virtual Environments (IVEs) in Healthcare Research and Design // *European Healthcare Design*. URL: <https://www.europeanhealthcaredesign.eu/news-media/integration-of-immersive-virtual-environments-ives-in-healthcare-research-and-design> (accessed: 20.02.2026)

24. *Azher S., Mills A., He J., Hyjazie T., Tokuno J., Quaiattini A., Harley J.M.* Findings Favor Haptics Feedback in Virtual Simulation Surgical Education: An Updated Systematic and Scoping Review // *Surg. Innov.* 2024. Vol. 31, No. 3. P. 331–341. <https://doi.org/10.1177/15533506241238263>

25. *Falcone V., Catic A., Heinzl F., Steinbauer P., Wagner M., Mikula F., Dorittke T., Roessler B., Farr A.* Impact of a Virtual Reality-Based Simulation Training for Shoulder Dystocia on Human and Technical Skills Among Caregivers: A Randomized-Controlled Trial // *Sci. Rep.* 2024. Vol. 14. Art. 7898. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57785-6>

26. *Raposo R., Vairinhos M., Laska-Leśniewicz A., Sztobryn-Giercuskiewicz J.* Increasing Awareness and Empathy Among University Students Through Immersive Exercises – Testing of the Virtual Reality Application: A Pilot Study // *Med. Pr.* 2023. Vol. 74, No. 3. P. 187–197. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.01391>

27. Mergen M., Graf N., Meyerheim M. Reviewing the Current State of Virtual Reality Integration in Medical Education – A Scoping Review // BMC Med. Educ. 2024. Vol. 24. Art. 788. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05777-5>

28. VR Cybersickness in Healthcare Simulation: Causes, Mitigation, and Impact // HealthySimulation.com. URL: <https://www.healthysimulation.com/vr-cybersickness-healthcare-simulation/> (accessed: 21.04.2025)

29. Ng A., Inagaki M., Antinucci R., Sockalingam S., Abdool P.S. Determining the Severity and Prevalence of Cybersickness in Virtual Reality Simulations in Psychiatry // Adv. Simul. 2025. Vol. 10. Art. 32. <https://doi.org/10.1186/s41077-025-00358-y>

30. Kim H., Kim D.J., Chung W.H., Park K.-A., Kim J.D.K., Kim D., Kim K., Jeon H.J. Clinical Predictors of Cybersickness in Virtual Reality (VR) Among Highly Stressed People // Sci. Rep. 2021. Vol. 11. Art. 12139. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91573-w>

31. Li M. A Comprehensive Review of Virtual Reality in Medical Education // Proceedings of the 2024 International Conference on Education and Multimedia Technology (ICEMT). Atlantis Press, 2024. P. 71–76.

32. Liu S., Yang J., Zhang C., Zhang J., Wang Q., Zhou R., Zhao Z., Ren S., Yi H., Guo H., Xia J. Use of a Nonimmersive Virtual Reality System for Clinical Thinking in Obstetric Nursing Education: Mixed Methods Study // J. Med. Internet Res. 2025. Vol.27. Art. e80951. <https://doi.org/10.2196/80951>

33. Kane D., Ryan G., Mangina E., McAuliffe F.M. A Randomized Control Trial of a Virtual Reality Learning Environment in Obstetric Medical Student Teaching // Int. J. Med. Inform. 2022. Vol. 168. Art. 104899. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2022.104899>

34. V Sechenovskom universitete zapustili novyj obrazovatel'nyj kurs po razrabotke reshenij virtual'noj i dopolnennoj real'nosti v medicine // Official website of Sechenov University. URL: <https://www.sechenov.ru/pressroom/news/v-sechenovskom-universitete-zapustili-novyy-obrazovatelnyy-kurs-po-razrabotke-resheniy-virtualnoy-i-/> (accessed: 04.08.2025)

35. Esmaeeli E., Soleimani A., Khorashadizadeh M.S., Shahmoradi L., Nekoonam S., Rezayi S. A Practical Framework for Developing a Virtual Reality-Based Anatomy Education Application: Key Content and Technical Requirements // Sci. Rep. 2025. Vol. 15. Art. 12536. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96074-8>

36. Lopanchuk P.A., Gushchin A.V., Anurov M.V., Korneeva E.V. Integraciya simuljacionnogo obucheniya v medicinskoe obrazovanie: opyt RNIMU im. N.I. Pirogova // Metodologiya i tekhnologiya nepreryvnogo professional'nogo obrazovaniya. 2023. Vol. 4, No. 16. P. 15–45.

37. VR Training in 2025: Benefits, Best Practices & Industry Use Cases // YORD Studio Blog. URL: <https://yordstudio.com/vr-training-in-2025-benefits-best-practices-and-industry-use-cases/> (accessed: 16.09.2025)

38. Xpeer. Future of Medical Education: AI, VR & Microlearning // LinkedIn. URL: https://www.linkedin.com/posts/xpeercmc_future-of-medical-education-ai-vr-microlearning-activity-7394682957111857152-SGpG (accessed: 21.06.2026)

39. Siddiqui M.F., Jabeen S., Alwazzan A., Vacca S., Dalal L., Al-Haddad B., Jaber A., Ballout F.F., Abou Zeid H.K., Haydamous J., El Hajj Chehade R., Kalamatov R. Integration of Augmented Reality, Virtual Reality, and Extended Reality in Healthcare and Medical Education: A Glimpse into the Emerging Horizon in LMICs—A Systematic Review // J. Med. Educ. Curric. Dev. 2025. Vol. 12. Art. 23821205251342315. <https://doi.org/10.1177/23821205251342315>

40. Li Q., Duan H., Zhou X., Sun X., Tao L., Lu X. The Use of Metaverse in Medical Education: A Systematic Review // Clin. Med. 2025. Vol. 25. Art. 100315. <https://doi.org/10.1016/j.clinme.2025.100315>

41. Setiawan I., Suhoyo Y., Widyandana D., Emilia O. Comparison of Virtual Reality and Mannequin-based Postpartum Hemorrhage Training: A Randomized Controlled Trial // Open Nurs. J. 2025. Vol. 19. Art. e18744346426336. <https://doi.org/10.2174/0118744346426336251001074230>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

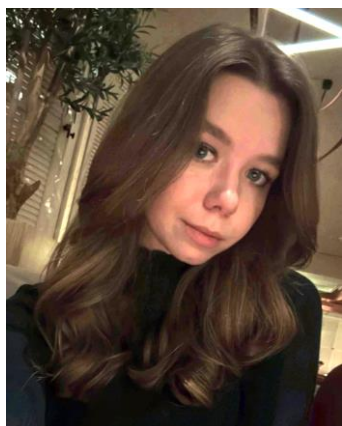


РАХМАТУЛЛИНА Миляуша Дамировна – И.о. проректора, Директор департамента цифровой трансформации университета ФБГОУ ВО Казанский ГМУ Минздрава России.

Milyausha Damirovna RAKHMATULLINA – Acting Vice-Rector, Director of the Department of Digital Transformation of the University of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kazan State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation.

email: milyaushadamirovna@mail.ru

ORCID: 0009-0000-4476-8570



КАРПЕЕВА Юлия Алексеевна – лаборант-исследователь Института информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского федерального университета. Направление исследований: проектный менеджмент в игровой разработке.

Yuliya Alexeevna KARPEEVA – laboratory assistant at the Institute of Information Technologies and Intelligent Systems, Kazan Federal University. Research area: project management in game development.

email: leyaleit@gmail.com

ORCID: 0009-0005-1632-2914

Материал поступил в редакцию 26 апреля 2026 года