

УДК: 614.88:004.946:615.47:004.5:378.046.4

ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В СИМУЛЯЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВИДОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ¹

Ю.А. Бубеев, А.В. Поляков, М.В. Михайлюк, С.Ф. Сергеев,
А.В. Сергеев, А.И. Мотиенко, Б.И. Крючков, В.М. Усов

Докт. мед. наук, проф. Ю.А. Бубеев; канд. мед. наук А.В. Поляков
(ГНЦ РФ – ИМБП РАН)

Докт. физ.-мат. наук М.В. Михайлюк
(ФНЦ НИИСИ НИЦ «Курчатовский институт»)

Докт. психол. наук, проф. С.Ф. Сергеев
(ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого», ЦНИИ РТК, ФГБОУ ВО СПбГУ)
А.В. Сергеев (ЦНИИ РТК)

Канд. техн. наук А.И. Мотиенко (СПб ФИЦ РАН)

Докт. техн. наук Б.И. Крючков (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Докт. мед. наук, проф. В.М. Усов (ГНЦ РФ – ИМБП РАН,
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Компьютерные технологии активно внедряются в процесс профессиональной подготовки специалистов экстремальных видов деятельности, в том числе космонавтов. Используется комплексный подход, в котором для моделирования деятельности применяются физические имитаторы в виде работоспособных макетов (возможно, с ограниченной функциональностью) и компьютерные модели на основе технологий виртуальной и дополненной реальности (VR/AR). Медицинская подготовка в ситуациях, угрожающих жизни, также может быть основана на тех же принципах, но с использованием в качестве объекта мануального воздействия высоко реалистичного манекена человеческого тела («пациента»), на котором отрабатываются алгоритмы оказания первой помощи, что отвечает принципам и методике симуляционного обучения. Внезапная остановка кровообращения (ВОК) является одним из наиболее опасных неотложных состояний, требующих экстренного вмешательства для спасения жизни пострадавшего. В настоящее время разработаны руководства по оказанию первой помощи при ВОК и подробные протоколы базовой сердечно-легочной реанимации (СЛР). Терминальные состояния человека при ВОК и формализованные алгоритмы СЛР реализуются на манекенах-тренажерах различной сложности. Использование датчиков и интерактивных компьютеризированных систем, встроенных в манекен-тренажер, позволяет оценивать качество выполнения компрессий грудной клетки (КГК) и выявлять ошибки в исполнении последовательности действий. Авторы настоящего исследования рассматривают

¹ Работа выполнена в рамках базовой тематики РАН FMFR 2024-0034 и FMFR 2024-0039 и государственного бюджета, номер проекта FFZF-2025-0019.

включение виртуальной среды деятельности в обучение на манекенах-тренажерах СЛР как актуальное и перспективное направление совершенствования медицинской подготовки к нештатным ситуациям (НшС). Целью работы является проведение литературного обзора и анализа перспектив применения на базе прототипов систем симуляционного обучения с иммерсивным погружением обучаемого в среду деятельности. Это позволяет реализовывать сложные сценарии спасательных операций, включающие элементы группового взаимодействия. Систематизированы литературные данные о преимуществах и ограничениях использования VR/AR-технологий при обучении СЛР при ВОК. Результаты выполненного анализа свидетельствуют, что при интеграции в симуляционном обучении высокореалистичных манекенов с VR/AR-технологиями расширяются возможности реализации учебных сценариев спасательных операций по оказанию первой помощи. **Ключевые слова:** неотложные состояния, внезапная остановка кровообращения, экстренная медицинская помощь, сердечно-легочная реанимация, симуляционное обучение, манекены-симуляторы, виртуальная и дополненная реальность

Virtual and Augmented Reality Technologies in Simulation Training of Extreme Cardiopulmonary Resuscitation Specialists.

Yu.A. Bubeev, A.V. Polyakov, M.V. Mikhaylyuk, S.F. Sergeev, A.V. Sergeev, A.I. Motienko, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov

Computer-based technologies are actively introduced in the professional training process of specialists in extreme activity, including cosmonauts. An integrated approach is used, in which the physical simulators of operable type (possibly with limited functionality) and computer models, based on virtual and augmented reality technologies (VR/AR) to model activity are applied. Medical training for life-threatening situations can follow the same principles but uses a highly realistic training manikin ("patient") to practice first aid manual intervention algorithms, which corresponds to the principles and methods of simulation training. Sudden cardiac arrest (SCA) is one of the most critical emergencies requiring immediate intervention to save a victim's life. Currently, there are established Guidelines for First Aid in SCA and detailed protocols for basic cardiopulmonary resuscitation (CPR). Terminal conditions during SCA and standardized CPR algorithms are replicated on manikins of varying complexity. Sensors and interactive computer-based systems built in a manikin-simulator allow assessing the quality of chest compression (CC) and identifying the procedure errors. The authors of this study propose that the integration of a virtual activity environment in manikin-based training for CPR is a relevant and promising direction for the improvement of medical training for off-nominal situations. The study purposes to review the literature and to analyze the prospects for using the simulation training systems, based on system prototypes, along with an immersion of a trainee in the activity environment. This allows performing complex rescue scenarios, including group interaction elements. The literature data on the advantages and limitations of using VR/AR technologies in CPR training during VOC have been systematized. Analysis results show that an integration of a highly realistic manikins and VR/AR technologies in the simulation training increases the possibilities to implement the training scenarios of the first aid rescue operations.

Keywords: emergency conditions, sudden cardiac arrest, emergency medical care, cardiopulmonary resuscitation, simulation training, simulator mannequins, virtual and augmented reality

Развитие перспективных программ пилотируемых космических полетов требует совершенствования методов формирования профессиональных компетенций, включая навыки выживания в экстремальных условиях. Особое значение приобретает подготовка экипажей к медицинским НшС в условиях ограниченной связи с Землей, что актуализирует развитие наземных моделирующих комплексов для отработки неотложной медицинской помощи. Среди критических состояний, требующих экстренного вмешательства, особое место занимает ВОК.

В современных технических средствах профессиональной подготовки специалистов различного профиля широко представлены технологии построения виртуального окружения, позволяющие моделировать профессиональную деятельность с активацией когнитивных механизмов регуляции. Этот подход особенно оправдан для отработки навыков, формирование которых в реальных условиях сопряжено с повышенным риском. В частности, для обучения СЛР применяются высокореалистичные физические тренажеры-манекены, позволяющие отрабатывать СЛР в соответствии с международными протоколами.

С появлением новых перспективных проектов пилотируемых космических полетов расширяется сфера применения компьютерных технологий в интересах формирования профессиональных компетенций космонавта для выполнения большого перечня задач обеспечения живучести в экстремальных условиях. Необходимость повышать готовность членов экипажа к медицинским НшС в условиях снижения информационной поддержки с Земли повышает актуальность расширения наземной подготовки космонавтов к оказанию экстренной медицинской помощи силами самого экипажа. В число особо неблагоприятных событий, требующих оказания экстренной помощи, входит ВОК. Уточнять формы обучения и объем медицинской подготовки космонавтов к таким инцидентам необходимо с учетом применяемых информационных приложений в области медицинского образования, а также особенностей подготовки специалистов экстремального профиля деятельности. Эта проблема касается большого числа профессий экстремального профиля деятельности, когда оказывать первую помощь пострадавшему необходимо экстренно вне клинических условий на догоспитальном этапе, как минимум, до прибытия медицинских бригад скорой помощи или до момента эвакуации пострадавшего в стационар.

К настоящему моменту при подготовке специалистов экстремального профиля деятельности широко применяются технологии, погружающие пользователя в виртуальную среду и позволяющие активно задействовать когнитивные механизмы регуляции поведения и деятельности. Построение виртуального окружения деятельности относится к числу новых способов

имитационного моделирования, которые позволяют развивать те стороны формирования профессионала, которые не удастся сформировать в реальной среде из-за опасных ситуаций и рисков для здоровья и работоспособности обучаемого. Сегодня для получения знаний, умений и навыков по СЛР предложена и широко применяется технология симуляционного обучения, в которой объектом воздействия служит высоко реалистичный манекен тела пострадавшего человека. Освоение базовой СЛР на тренажере-манекене позволяет расширить возможности спасения пострадавших при условии правильного выполнения протоколов и рекомендаций, разработанных экспертным научным сообществом. Эти рекомендации проходят проверку и испытания в течение ряда лет в реальных условиях (включая инциденты вне клинического стационара), и сегодня они нашли отражение в важнейших Международных и национальных нормативных документах как стандартные протоколы экстренного оказания помощи в неотложных состояниях при ВОК.

При проведении тестирования в рамках симуляционного обучения СЛР выявляется большой процент ошибочных действий практически у всех категорий пользователей. В литературе имеются сведения, что источником ошибок СЛР могут быть не только неправильное исполнение КГК и нарушение последовательности действий, предусмотренных протоколами базовой СЛР, но и ошибки, возникающие из-за несвоевременности действий, нарушений группового взаимодействия спасателей, низкой готовности к экстренным действиям в усложненной обстановке, а также вследствие развития стресс-индуцированных реакций на шокирующий инцидент и др. Это позволяет говорить о необходимости учета человеческого фактора и необходимости включения в состав симуляционного обучения сценарного подхода с имитацией развития медицинских НшС.

Сценарии спасательных операций отличаются большой вариативностью, а при взаимодействии спасателей в реальной обстановке возникают трудности ситуативного характера. Именно в этом заключена главная проблема формирования профессиональных компетенций. Приступая к спасению пострадавшего, обучаемый должен иметь возможность выполнения поисковой активности для ориентировки в окружающей среде, которая может нести новые угрозы и ограничения, привлечения партнеров для сменной организации КГК, выполнения поиска необходимого спасательного оборудования для реанимации, включая аппараты искусственной вентиляции легких (ИВЛ), автоматические наружные дефибрилляторы (АНД), медицинские укладки, наборы медикаментозных средств и др., организации двухминутных смен спасателей (как это сформулировано в рекомендациях для снижения негативного эффекта утомления и снижения силы КГК), получения информации о начале и завершении своей смены, наблюдения за действиями партнеров, получения советов экспертов и др.

В определенном смысле можно говорить о необходимости реализации сценариев тренировок с введением элементов ситуационной неопределенности,

которая приводит к необходимости, помимо реализации исполнительных (моторных) действий, экстренно принимать решения в составе группы спасателей. Это обстоятельство дает основание для расширения функционала симуляционного тренажера СЛР компьютеризированными средствами визуализации и поддержки коммуникации, что приводит к постановке задачи поиска прототипов систем симуляционного обучения СЛР с элементами иммерсивного погружения обучаемого в среду виртуального окружения деятельности. Другими словами, новый уровень требований к проектированию тренажеров-манекенов СЛР состоит в том, чтобы создавать окружение предметной деятельности с помощью интерфейсов на базе VR, AR, смешанной (MR) и/или расширенной реальности (XR). В настоящее время использование таких интерфейсов в обучении базовой СЛР является областью многих экспериментальных исследований.

Как новый аспект проблемы подготовки специалистов в области медицины рассматривают направления «Серьезные игры» и «Геймификация» для усиления «вовлеченности» обучаемого, поскольку такие подходы оказывают активизирующее влияние как на индивидуальное принятие диагностических решений, так и на коллективное взаимодействие при командной работе.

К настоящему времени вопросы расширения возможностей симуляционного обучения средствами иммерсивного погружения и стандартизации требований к построению сценариев ситуационного тренинга применительно к профессиям экстремального профиля деятельности изучены недостаточно. Проблемными остаются вопросы роли и места технологий виртуального погружения в составе симуляционного обучения космонавтов экстренной медицинской помощи в медицинских НшС, что остается в фокусе дискуссий исследователей этой междисциплинарной проблемы. В настоящем обзоре предпринята попытка осветить актуальные подходы в сфере применения VR/AR-технологий для подготовки к проведению спасательных операций при ВОК.

По результатам анализа предполагается сформулировать предложения к выбору перспективных вариантов построения тренажеров-манекенов, особенно в той части, которая относится к решению тактических задач и ситуационного моделирования медицинских НшС в условиях дефицита времени при чрезвычайных ситуациях (ЧС) и жестких требований к организации рационального взаимодействия спасателей в команде при оказании первой помощи в неотложных состояниях.

Консенсус экспертного научного сообщества по протоколам выполнения СЛР и их реализация в симуляционном обучении

Относительно такого опасного неотложного состояния, как внезапная остановка сердца, в экспертном сообществе принят консенсус о выполнении СЛР

на основе международных руководств и рекомендаций экспертного сообщества [1]. Консенсус по СЛР сформировался и последовательно уточнялся на протяжении многих лет, результатом чего стала разработка протоколов базовой и расширенной СЛР, закрепленных в ряде национальных нормативных документов и тиражированных в многочисленных источниках учебной литературы. Одно из главных положений этого консенсуса состоит в том, что экстренное принятие решений на оказание первой помощи в неотложном состоянии пострадавшего и немедленное начало ручной КГК (непрямого массажа сердца) являются единственно возможным выбором первоочередных действий для спасения жизни. Рекомендуемые научным сообществом протоколы СЛР могут спасти жизнь пострадавшего, в то время как каждая минута без СЛР снижает шансы человека на выживание на 7–10 % [2]. Промедления с оказанием первой помощи могут привести к полной утрате жизнеспособности организма пострадавшего. При отсутствии самостоятельного дыхания и остановке кровообращения в условиях нормотермии через 3–5 минут происходит необратимая потеря функций коры головного мозга человека [3].

Обязательные действия непрямого массажа сердца дополняются мероприятиями восстановления дыхания (применением ИВЛ) и борьбой с нарушениями ритма сердца (фибрилляцией желудочков и желудочковой тахикардией) посредством применения АНД при наличии такого оборудования и резерва времени. Эти предписания отражены в нормативных отечественных документах [4, 5]. Для практического освоения СЛР широко применяется технология симуляционного обучения, позволяющая реализовать различные протоколы СЛР при внезапной остановке сердца. Эта технология медицинской подготовки получила признание при решении задач аттестации медицинского персонала, спасателей МЧС и сотрудников силовых ведомств.

Обучение СЛР играет решающую роль в спасении жизней в чрезвычайных ситуациях, поскольку включает в себя показавшие свою эффективность в разных условиях оказания первой помощи способы и приемы непрямого массажа сердца и искусственного дыхания для поддержания кровообращения и снабжения мозга кислородом [6]. Методика и алгоритмы оказания неотложной медицинской помощи должны отрабатываться на манекенах симуляционного обучения СЛР, что является важным предиктором выживаемости пострадавшего при ВОК [7–9]. Однако на практике качество СЛР во многих проанализированных в литературе случаях не отвечает положениям руководств и рекомендованным протоколам СЛР, прежде всего, в отношении глубины КГК и их частоты, допустимой длительности перерывов в компрессии и др. [10, 11]. Это обстоятельство стимулирует поиск средств и методов улучшения качества симуляционного обучения. Чтобы улучшить реалистичность, повысить мотивацию и психологический настрой обучаемых, предпринимаются попытки расширить аппаратную и информационную базу симуляционного обучения. В первую очередь речь идет

о процедурных требованиях с учетом знаний сроков сохранения жизнеспособности пострадавшего, срочности реагирования на инцидент, последовательности и длительности действий в «цепочке выживания» пострадавшего – серии действий, которые при правильном выполнении снижают процент смертности при ВОК.

VR/AR-реальность в симуляционном обучении: функционал и эффективность

На вопросы применения методов улучшения характеристик визуализации имитируемой среды деятельности исследователи обратили особое внимание. Имеется ряд источников, в которых предлагаются практические подходы к обучению в иммерсивной симуляционной среде и регулярно сообщается о проведенных опросах участников испытаний новых подходов для оценки различных психологических факторов адаптации обучаемых к новой обучающей среде, для оценки перспектив овладения с ее помощью компетенциями спасательных работ, для учета индивидуальных особенностей психического реагирования на инцидент и восприятия факторов экстремальной обстановки [12, 13].

В исследованиях [13–16] авторы указали на ограничения традиционного образования СЛР и отметили потенциальные полезные особенности технологий иммерсивного погружения как дополнительного инструмента обучения для формирования готовности к ВОК.

В настоящее время предпринимаются шаги по совершенствованию методов симуляционного обучения на основе VR/AR-технологий, предлагаются приемы, которые упрощают восприятие и помогают лучше запомнить последовательность действий при оказании экстренной медицинской помощи, а также позволяют эффективно контролировать качество полученных знаний. Важно подчеркнуть, что при подготовке новых учебных инструментов за основу по-прежнему берутся клинические рекомендации международных и общероссийских врачебных организаций и актуальные приказы Министерства здравоохранения Российской Федерации [17].

В рамках клинической парадигмы в исследовании [17] описан VR-тренажер экстренной медицинской помощи для оснащения Центра симуляционного обучения вуза, который относится к образовательным высоко технологичным продуктам и способствует качественной подготовке медицинских специалистов, поскольку обеспечивает максимальную безопасность как для наблюдателей процесса оказания помощи, так и для «пациента с прогрессирующим ухудшением жизненно важных функций». Предлагаемый VR-тренажер погружает в иммерсивную среду, способствуя повышению внимания к особенностям обстановки в процессе оказания помощи.

На выживаемость больных при ВОК влияет не только немедленное начало реанимационных мероприятий, но и их качество [18], которое во многом

определяется методиками обучения и аппаратным оснащением Центров симуляционного обучения.

Функции VR-систем в тренажерах-манекенах СЛР при подготовке специалистов экстремального профиля деятельности

Изучение материалов о возможности создания технических средств для медицинской подготовки космонавтов к выполнению экстренной помощи пострадавшему, в том числе в объеме базовой СЛР в пилотируемых космических полетах, свидетельствует о наличии значительных методических и технических трудностей, которые необходимо преодолеть при их разработке [19, 20].

В этом контексте правомерна постановка вопроса: может ли в какой-то мере смягчить или преодолеть эти трудности применение инновационных технологий иммерсивного погружения и построения виртуального окружения деятельности для имитации командной работы экипажа космонавтов? Известно, что такие решения практикуются применительно к самым различным видам многопрофильной деятельности космонавта, что позволяет рационально распределять учебную нагрузку между различными техническими средствами профессиональной подготовки в зависимости от этапа формирования знаний и навыков, задач конкретной миссии, ожидаемых рисков и др.

В настоящее время накоплен большой практический опыт применения компьютерных моделей и программно-информационных систем для компьютерного синтеза виртуального окружения деятельности космонавта и создания проблемных ситуаций для накопления опыта ведения ориентировки в динамической среде и принятия решений в сложных ситуациях.

Компьютерная технология моделирования различных ситуаций в системах виртуального окружения оперирует трехмерными моделями реальной или искусственной среды и позволяет воспроизводить различные динамические ситуации, в которых человек должен выполнить поставленные перед ним задачи [21, 22].

Согласно публикации [23], для многих производственных сфер VR-симуляторы имеют ряд преимуществ по сравнению с физическим оборудованием:

- сокращение затрат на производство и обслуживание VR-симулятора;
- более высокая эффективность обучения по сравнению с традиционным подходом за счет увеличения количества часов на проработку навыков;
- возможность проводить обучение без прерывания производственных процессов;
- освобождение времени для сотрудников, ответственных за проведение инструктажей по технике безопасности и охране труда на предприятиях;

- повышенный контроль за процессом обучения новым навыкам среди персонала;
- подготовка новых сотрудников к работе с оборудованием или обучение работе на новых станках для более квалифицированных кадров;
- обучение и проверка знаний в области охраны труда и техники безопасности, в том числе и действий в случае возникновения чрезвычайных ситуаций на предприятии.

Перспективы внедрения иммерсивных технологий в медицинское симуляционное обучение связывают с задачами моделирования сложных для принятия решений ситуаций, включая применение таких решений для внеаудиторного и дистанционного обучения [24, 25].

Назначение иммерсивных технологий в составе медицинского симуляционного обучения специалистов экстремального профиля деятельности рассматривают в свете задач организации коллективной работы в аварийной обстановке, когда необходимо решать комплекс задач для создания благоприятных условий СЛР. Так, например, учитывая существующие рекомендации по организации посменной двухминутной КГК, участникам спасательной операции, необходимо спланировать рациональный график этой загрузки и параллельно готовить аппаратуру ИВЛ и АНД. В тот момент, когда удастся добиться спонтанного восстановления кровообращения на манекене, необходимо, не прерывая КГК, обеспечить подключение этой аппаратуры и снова распределить исполнителей по видам работ. Также стоит задача распределить в команде роли: руководителя спасательной операции, консультанта-инструктора (из числа наиболее подготовленных для медицинских НшС), инженера-наладчика аппаратуры и контроля правильности эксплуатации по правилам безопасности труда, когда необходим контроль использования платформы с заземлением при применении АНД.

VR/AR-тренажеры для симуляционного обучения СЛР: новые подходы

Возможности применения виртуальной среды в составе технологии симуляционного обучения обсуждаются в ряде современных исследований:

- в работе [26] выполнен анализ достижений в области виртуальной имитации СЛР и предложено решение с использованием VR/AR/MR/XR-технологий;
- в работе [27] для обучения СЛР на носимых устройствах была разработана и применена среда, позволяющая просматривать изображения, созданные в цифровом формате VR;
- в работе [28] сообщается, что в VR можно имитировать такие процедуры, как непрямой массаж сердца, ИВЛ и АНД в реалистичной среде, но такой путь не может обеспечить тактильные ощущения, как в реальной жизни, и освоить моторный навык КГК;

- в работе [29] была разработана интерактивная среда AR, воспроизводящая реалистичные сценарии развития инцидентов, связанных с ВОК;
- в работе [30] выбор AR на основе маркеров был обусловлен потребностью улучшения точности измерения давления на грудную клетку.

Общая направленность этих разработок – предоставить пользователю расширенные возможности освоения знаний в объеме базовой СЛР в контексте определенных сценариев развития событий при ВОК.

Технологии погружения обучаемого в виртуальную среду деятельности целесообразно использовать для обучения СЛР, поскольку обучение на основе VR/AR имеет большой потенциал для охвата самой широкой аудитории, несмотря на то, что имеются разногласия относительно его эффективности в повышении качества СЛР по сравнению с традиционно построенными курсами симуляционного тренинга [31–36].

В контексте обучения базовой СЛР на базе VR/AR предлагаются инновационные образовательные подходы, но при этом они служат разным целям обучения и обеспечивают разный практический опыт принятия решений из-за различающихся возможностей комплексирования с реальной средой симуляционного обучения (с использованием манекенов) [33].

В результате технология VR в большей степени пригодна для первоначального ознакомления при обучении СЛР, но может не полностью подготовить обучаемых к практическим компонентам СЛР [34]. Технологии VR/AR рассматриваются в качестве базы для новых методов повышения вовлеченности в обучение СЛР и как дополнительные методы обучения СЛР, оказывающие положительное влияние на позитивное самовосприятие обучаемого, его уверенность в себе и возросшую компетентность [35].

Согласно исследованию [37], применение VR для обучения СЛР оказывает положительное влияние на процедурные знания как с использованием физического манекена, так и без него, но для понимания правильного давления при КГК необходимы испытания на реальном физическом манекене для формирования моторных навыков (частоты КГК) и навыков регуляции мышечных усилий, чтобы контролировать степень напряжения мышц, управлять их сокращением и расслаблением.

В исследовании [38] был выполнен анализ применяемых средств визуализации на базе VR/AR, чтобы проследить эволюцию этих новых подходов к обучению СЛР, оценить их эффективность и определить будущие направления для устранения пробелов в текущих знаниях. Полученные результаты свидетельствуют, что ситуационные задачи в формате VR получали высокую оценку от многих разработчиков, исследователей и испытателей на всех этапах разработки и внедрения VR/AR-продуктов. Практически все респонденты отметили востребованность способов отработки действий в предложенных сценариях принятия решений в виртуальной среде. Чтобы оценить экономическую эффективность ситуационно обусловленных учебных сценариев, в числе актуальных направлений ставится вопрос о разработке

стандартизированных протоколов обучения СЛР на основе технологий VR/AR и совершенствования методики обучения с иммерсивным погружением [39].

Необходимо кратко остановиться на тех методических ограничениях, которые присущи системам симуляционного обучения, построенным в ограниченных рамках возможностей VR-технологии без применения реальных физических манекенов, то есть ориентированных исключительно на формирование знаний о процедурных требованиях СЛР. Дело в том, что при ограничениях рамками VR-технологии такие процедуры, как КГК, ИВЛ и АНД, не могут быть выполнены так же, как в реальной физической среде.

В VR-тренажере для выполнения СЛР используются опосредованные интерфейсом средства управления воздействием на виртуальный манекен (объект первой помощи) или на виртуальные изображения рук спасателя (маркеры на визуальном поле), а не прямой физический (мануальный) контакт с объектом воздействия (манекеном) [35, 37].

Это обстоятельство позволяет говорить о том, что, несмотря на имеющиеся достижения технологий виртуального окружения в сфере медицинского образования, необходимо учитывать сравнительную эффективность различных форм и методов преподавания СЛР при обучении базовой СЛР [24]. В целом для задач теоретического обучения СЛР цифровые технологии иммерсивного погружения могут сыграть значимую вспомогательную роль, и пример одного из возможных решений – многоэтапная виртуальная обучающая среда по СЛР, предложенная в исследовании [40]. Разработанная виртуальная обучающая среда в цитируемой работе получила название «Обучение базовой реанимации (BLS)» и включает семь модулей: «Исторические аспекты», «Базовая реанимация», «Эпидемиология», «Концепции», «Анатомия и физиология», «Алгоритмы BLS», «Вопросы моделирования» – что свидетельствует о попытке создать широкий теоретический базис обучения перед этапом практических занятий. По результатам разработки данного технологического продукта, «образовательного приложения», применяемого в виртуальной обучающей среде», авторами сделано заключение, что виртуальную среду обучения необходимо рассматривать как эффективный образовательный инструмент.

Правомерно поставить вопросы, какие технологии можно использовать отдельно и совместно в традиционном теоретическом, симуляционном обучении на реальных манекенах и комбинациях традиционных форм с иммерсивными технологиями, чтобы успешно применять интерактивное информационное образовательное приложение по СЛР. Ответы на эти вопросы позволяют при дальнейшем анализе перспективности разработок исходить из задач симуляционного обучения в отношении методических подходов на формирование знаний, моторных навыков мануальной техники КГК, различного состава процедурных знаний и умений, готовности реагировать на условия усложненной обстановки при работе в команде и др.

При обучении базовым навыкам оказания первой помощи VR-среда может способствовать разделению этапов обучения на более простые составные компоненты индивидуальной подготовки. В достаточно большом числе работ выводы о целесообразности и приемлемости этих информационных технологий для СЛР чаще всего сопровождаются аргументами о расчете стоимости и сложности организации симуляционного тренинга и обучения, очных и/или заочных режимах информационного взаимодействия с инструктором СЛР и др. Очевидно, что в отношении вопросов массовой подготовки (специалистов в системе МЧС, кадров для здравоохранения и для охвата населения в целом) во внимание должна приниматься экономическая целесообразность с учетом текущей стоимости носимых изделий и поддержания дистанционной системы информационного взаимодействия. Однако по мере роста числа изделий на базе технологий AR/VR и роста предложений по созданию учебных программ для обучения специалистов, способствующих росту тиражей и снижению стоимости, расширяется интерес к симуляционным моделям с использованием иммерсивных инструментов.

Некоторые из ограничений изолированного применения виртуальных сред для обучения СЛР можно устранить с помощью расширенной реальности (совместного применения VR/AR-технологий в комбинации с реальным учебным оборудованием), используя полномасштабные манекены и другие объекты моделирования, сопряженные с инновационными системами визуализации для информационного обеспечения спасателя [35, 41]. Именно этот путь нами рассматривается как наиболее перспективный для разработки и совершенствования симуляционного обучения космонавтов.

По результатам анализа ряда перечисленных выше источников можно полагать, что применение иммерсивных технологий может помочь воссоздать некоторые элементы реальной внешней обстановки в учебном классе, и это имеет практическую ценность, если улучшение визуализации может повлиять на групповое взаимодействие спасателей и помочь выявить индивидуальное реагирование на сложности текущей ситуации.

Технологии VR погружают обучаемого в смоделированную трехмерную среду, обеспечивая визуальный и слуховой опыт, вне сигналов от реального мира. В обучении СЛР VR часто используется на вводных этапах обучения, где акцент делается на понимании этапов процесса СЛР, а также распознавании чрезвычайных ситуаций и принятии решений в контролируемой виртуальной обстановке (согласно учебному сценарию).

В типовом варианте VR предлагает высокий уровень погружения, позволяя практиковать принятие решений в заранее сформированных сценариях, но в этом случае недостаточно актуализируются механизмы обратной связи, необходимые для активного реагирования. В свою очередь, технология AR накладывает актуальную цифровую информацию на картину реального мира, улучшая взаимодействие обучаемого с окружающей реальной физической средой и партнерами по СЛР.

Тренажеры-манекены СЛР: командное взаимодействие на базе AR

В литературе представлены исследования, в которых изучались возможности обучающих систем на платформе визуализации с использованием носимых устройств AR. Важно отметить, что имеются значительные методические отличия в применении AR и VR в плане обучающей направленности, а именно: AR позволяет обучаемому контролировать реальную обстановку в симуляционной среде с физическим манекеном, в то время как изолированное применение VR для симуляции виртуального манекена не предоставляет пользователю способа видеть реальную среду и/или взаимодействовать с ней, что ограничивает возможности взаимодействия участников операции спасения в контексте развития проблемной ситуации.

Здесь необходимо пояснение, какой вариант AR наиболее часто применяется в задачах информационной поддержки работающего человека и какой механизм обеспечивает введение в поле зрения наблюдателя визуальные элементы таким образом, чтобы не препятствовать контролю окружающей обстановки и наблюдению целевого объекта. Одно из возможных определений AR, отвечающей этому требованию, дано в работе [42]. Под AR авторами понимается результат введения в поле зрения человека дополнительных (вспомогательных) изображений с целью расширения сведений об актуальном реальном окружении и улучшения восприятия этой информации. В этом случае предназначение AR-технологии состоит в том, чтобы добавить к наблюдаемой визуальной картине новые сенсорные элементы путем проецирования объектов AR в поле зрения человека.

Применительно к СЛР спасателю может отображаться информация, получаемая с датчиков физического манекена, о качестве компрессии, синтезируемая картина о кровенаполнении кровеносного русла в бассейне сонных артерий и головного мозга (по расчетной модели соответствия КГК требованиям протоколов базовой СЛР), текущее время работы конкретного спасателя на манекене, общее время реанимации, а также командная речевая информация от участников работы, включая руководителя спасательной операции. Зрительная модальность является в данном случае ведущей при построении интерфейса для выбора абонента коммуникации и ведения контроля окружающей среды и не предполагает задействования рук для управления ходом презентации визуальных данных.

Для подготовки спасателей одним из возможных решений является технологически усовершенствованная симуляция с построением виртуального окружения для ситуационного моделирования. Например, в исследовании [29] преследовалась цель оценить прототип AR в качестве инструмента для обучения СЛР. В этой работе была предложена система для самостоятельного обучения базовой СЛР с носимым устройством Holo-BLSD, в котором отображение стандартного манекена для СЛР «дополняется»

интерактивной виртуальной средой, воспроизводящей реалистичные сценарии развития инцидента.

Обучаемые могли использовать естественные жесты, движения тела и голосовые команды для выполнения своих задач с виртуальными 3D-объектами, привязанными к манекену и окружающей среде. Пользователи оценили устройство Holo-BLSD как простое в освоении и использовании, а авторы разработки и испытаний – как приемлемый инструмент AR для обучения базовой СЛР.

Аналогичный подход продемонстрирован в работе [26] при проектировании и испытаниях симулятора XR-BLS на базе XR было обеспечено одновременное сочетание виртуального и реального мира. XR рассматривалась в качестве единого подхода на базе VR/AR/MR-технологий к построению интерактивной автоматизированной системы на базе комплексирования физического оборудования манекенов и виртуальной среды. Для управления в виртуальной среде динамической картиной проведения КГК и ИВЛ, а также для использования АНД в цитируемой работе применялись наголовный дисплей (HMD) и устройство для отслеживания движений рук в составе тренажера XR-BLS, реализующего обучение в соответствии с международными рекомендациями по СЛР.

Вопросы дистанционного контроля обучаемого при работе с реальным физическим манекеном заслуживают отдельного обсуждения, так как в этом случае прослеживаются некоторые аналогии взаимодействия человека и роботизированных комплексов, для которых имеются прототипы построения человеко-машинного интерфейса.

Построение обратной связи в контурах контроля и самоконтроля в тренажерах-манекенах СЛР Центров симуляционного обучения

Важное значение при прохождении курса симуляционного обучения придается наличию технических средств построения обратной связи на обучаемого по результатам КГК на основе датчиков, вмонтированных в манекен, и/или с использованием систем захвата движений человека для мониторинга двигательной активности спасателя во время закрытого массажа сердца [43]. В настоящее время в литературе достаточно полно представлен вопрос применения систем захвата движения рук человека на расстоянии и распознавания движения рук и положения тела [22, 44, 45].

Эти программно-аппаратные средства позволяют расширить состав входных данных для контроля не только правильности позы и положения рук спасателя на манекене, но и взаимного положения спасателей в группе и командного взаимодействия, включая обмен речевыми командами. Среди них выделим устройство Kinect, разработанное компанией Microsoft на основе технологии «глубокой» камеры. Оно может получать информацию

о действиях пользователя в окружающей среде в режиме реального времени с помощью комбинации датчиков и камер [22, 46]. Устройство Kinect сочетает в себе камеру глубины, RGB-камеру и несколько датчиков для отслеживания движений человека, выражения его лица и голосовых команд в режиме реального времени. Тем самым оно служит для взаимодействия человека и компьютера.

Вышеизложенное означает, что качественное выполнение СЛР требует не только моторных навыков, но и процедурных знаний, для которых предлагается использование информационных технологий иммерсивного погружения [8, 37, 47, 48] и новых технологий для контроля процедурных последовательностей действий для компьютерного синтеза динамической визуализации выполнения СЛР.

Обучаемый может имитировать только последовательность выполнения процедурных этапов на экране монитора, управляя периферическими устройствами или используя средства жестового управления, что позволяет визуализировать 3D-сцену в разных проекциях [22]. Это позволяет представлять визуальную картину КГК и перемещение рук спасателя после воздействия на виртуальные органы управления в их графической форме на экране монитора или при распознавании движения с помощью систем захвата движений рук пользователя. В частности, этот тип интерфейса позволяет улучшить взаимодействие и коммуникацию в команде, поскольку реализация функций дистанционного распознавания речи и движений рук позволяют управлять устройством визуализации без использования ручного ввода данных [49].

В исследовании [26], как отмечено выше, основным источником информации для построения обратной связи было использование динамической картины перемещения собственных рук, головы пользователя и команды голосовой связи на основе гарнитуры HTC Vive Pro. Технология отслеживания движений рук (трекер Leap Motion) позволяет увидеть 3D-графику своих рук в действии и манипулировать 3D-объектами (например, АНД). Для отслеживания направления взгляда обучаемого была реализована технология отслеживания положения головы с использованием базовой станции 2.0, а также применение «маяка», который помогает определять местоположение шлема VR. Это решение позволяет обучаемому работать с цифровыми двойниками так же, как с реальным манекеном. При этом компрессии оцениваются по критериям, разработанным для КГК на физических манекенах. Дополнительно в этом проекте [26] при построении симуляционного тренажера реализована идея применения в имитируемой 3D-среде деятельности не только реалистичного фона, но и виртуальных ролевых персонажей, способных к взаимодействию в рамках сценариев обучения. Персонажи включали ролевые позиции: «Очевидец», «Инструктор» и «Пациент». Манекен был оснащен набором датчиков для контроля действий обучаемого. Виртуальный

«Инструктор» на базе искусственного интеллекта (ИИ) был запрограммирован на предоставление обратной связи в режиме реального времени в зависимости от действий обучаемого. Отзывы «Инструктора» содержали лишь простые оценки действий пользователя, такие как: «неправильное положение» рук, «быстро/медленно» осуществляются компрессии, «сильно/слабо» осуществляется компрессия, в отличие от более подробной информации, отображаемой в графическом пользовательском интерфейсе (GUI), которая включала показатели глубины сжатия грудной клетки, частоты и объема вентиляции.

Технология AR на основе маркеров – вариант, при котором обучаемый может реалистично видеть манекен, знать, где он расположил свои руки на груди манекена, определять количество нажатий на грудную клетку в минуту, а также силу давления на грудную клетку.

По данным работы [50] применение носимых устройств визуализации с использованием команд голосом или жестами для общения обучаемого с виртуальными персонажами в виртуальной среде и для общения спасателей в реальной обстановке в ходе имитационного тренинга на физическом манекене целесообразно именно в сценариях командного взаимодействия участников спасательной операции.

Отсутствие качественной и эффективной командной коммуникации во время СЛР критических состояний может привести к неблагоприятному исходу для пациента и неблагоприятным последствиям [51]. Согласно данным этой публикации для отработки командных действий необходимо использовать специально спроектированный сценарий и программу обучения на основе симуляционного тренинга с использованием высококачественного манекена под руководством инструкторов СЛР, которые оценивают навыки СЛР и командной работы у медицинских работников.

В модели обучения при наличии различных способов построения контура обратной связи для обучаемого по сигналам от датчиков на манекене появляется возможность визуализировать в реальном масштабе времени качество СЛР. Имеются исследования, в которых показано, что применение технологии визуализации 2D- или 3D-изображения кровеносной системы, которое соответствует качеству выполняемой СЛР, является эффективным способом повышения качества СЛР. Для визуального представления может быть использовано построение динамической картины кровотока к жизненно важным органам, в первую очередь – приток крови к мозгу, что наиболее значимо для прогноза выживания при проведении СЛР в реальной жизни. В работе [10] был использован этот методический прием при выполнении КГК на манекене с обратной связью. Выходные данные по качеству КГК выводятся на носимое устройство AR в Microsoft HoloLens, и изображение системы кровообращения накладывается на картину среды рядом с манекеном. В определенной мере эта идея базируется на известном принципе построении обратной связи от объекта воздействия на спасателя для задания

темпа и глубины КГК на манекене специальными (звуковыми и цветовыми) сигналами [52, 11].

Одной из приоритетных задач в большом числе экспериментальных работ выступало доказательство заинтересованности обучаемых (и потенциальных пользователей – студентов) в применении иммерсионных технологий обучения СЛР. Так, например, исследование [13] отмечает положительный отклик пользователей, которые изучали уровень удовлетворенности и образовательной эффективности разработанного средства для интерактивного взаимодействия с виртуальной средой Virtual Doc. Virtual Doc в цитируемой статье – это симуляция виртуальной среды, разработанная для Oculus VR (Facebook Technologies, LLC). Приложение Virtual Doc было разработано с использованием программного обеспечения Unity3D (Unity Technologies), а модели были реализованы с использованием программного обеспечения для моделирования Blender с открытым исходным кодом. Моделирование проводилось с использованием оборудования носимого устройства Oculus Rift, подключенного к ноутбукам.

Для формирования взаимодействия участников предлагается учебный сценарий отработки командной работы, которая имеет первостепенное значение для успешной реанимации в сложной обстановке. Коллегиальность команды реагирования напрямую влияет на предикторы выживания пострадавшего после остановки сердца. Авторы исследования полагают, что многопользовательский дизайн в виртуальной среде может предоставить возможность чередовать различные роли в команде реанимации, включая лидерство, поддерживая активный опыт обучения с потенциалом снабдить учащихся важными навыками командной работы, необходимыми для управления СЛР.

«Игровой подход» (геймификация) на основе технологий, таких как Virtual Doc, может способствовать созданию благоприятной атмосферы командной работы, стимулировать вовлеченность в процесс освоения профессии [53].

Хотя в немногих исследованиях изучается использование AR для моделирования СЛР, существует большое количество доказательств использования VR-технологии для предтренажной подготовки к симуляционному обучению. Речь идет о динамическом отображении синтезированной компьютером картины выполнения манипуляций при внешней КГК, по сути – об использовании видеопрезентаций, которые могут применяться и в ходе тренинга для обучения темпу компрессий [30, 34].

На рис. 1 показаны возможные источники получения информации для формирования общего контента при организации коммуникации в команде спасателей.

На рис. 2 показан вариант визуализации КГК, когда управление выполняется в виртуальной среде деятельности.

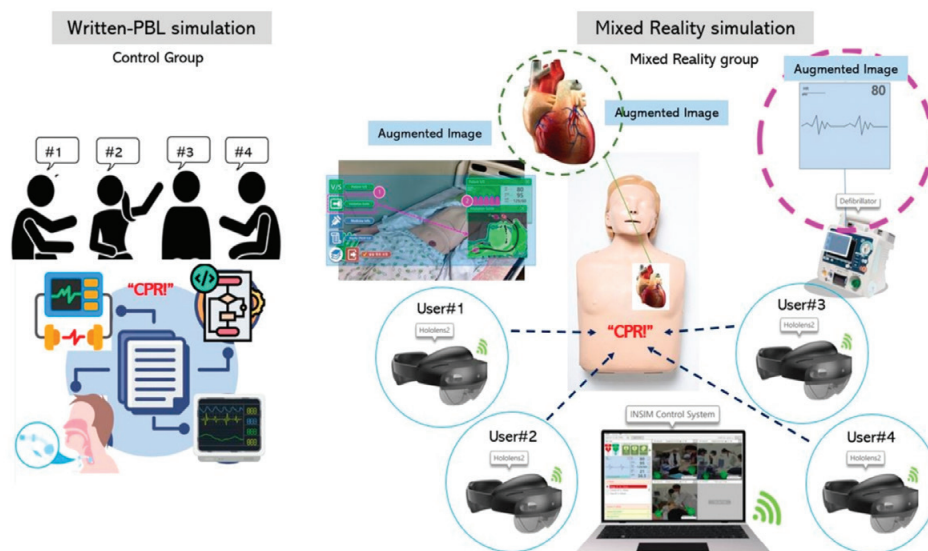


Рис. 1. Возможные схемы формирования общего контента для ориентированных на группу участников в сценариях СЛР с использованием носимых устройств AR [50]

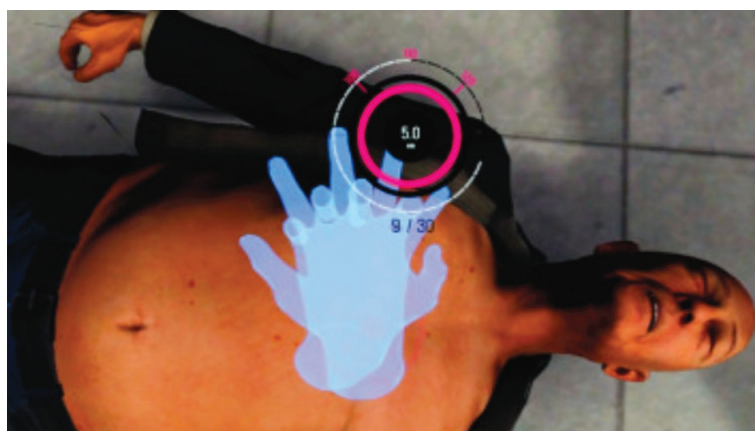


Рис. 2. Вариант визуализации КГК в сценариях СЛР с использованием виртуальной интерактивной среды [26]

Психологические эффекты иммерсивного погружения при обучении СЛР

Опросы обучаемых, которые представлены в большом числе работ по обучению СЛР, показывают заинтересованность пользователей в VR-инструментах для самостоятельного обучения. В исследовании [35] подчеркнута роль

VR-технологий как эффективного метода обучения, оказывающего положительное влияние на самооценку, уверенность в себе и компетентность.

Интересной представляется исследовательская задача оценить влияние технологий виртуального окружения на выраженность стресс-индуцированных реакций. Несколько исследований продемонстрировали, что СЛР вызывает значительный психологический стресс у спасателей [54–58], а работники здравоохранения часто чувствуют себя неподготовленными к управлению стрессом и конфликтами в ситуации ВОК [59, 60].

В реальной ситуации, кроме непосредственно практических навыков и знания алгоритмов, требуются быстрота реакции, стрессоустойчивость, умение эффективно оценивать изменения обстановки и факторы угрозы, точность (клинического) мышления, то есть проявления свойств адаптационного потенциала. Это означает, в частности, что эмоциональному компоненту при подготовке специалистов экстремального профиля деятельности необходимо уделить особое внимание, поскольку стресс, испытываемый в чрезвычайной ситуации, может ухудшить производительность. Согласно работе [56] проявление реакций стресса и подавленности во время проведения СЛР было связано с худшим выполнением СЛР.

В работе [60] показано, что выраженное отрицательное влияние на эффективность первой помощи оказывал психологический фактор отсутствия готовности быстро и четко действовать, что подтверждает перспективность тренинга в высоко реалистичных средах визуализации зон ЧС, учитывая факторы окружающей обстановки.

Блок тактической задачи в цитируемой работе включал в себя определение качества работы лидера, общую координацию действий, рациональное распределение человеческих и материальных ресурсов. Степень качества коммуникации участников между собой определяется наличием адресных команд, отчетов о выполнении, озвучивании своих действий и получения рациональных предложений по обратной связи.

Тренинги с имитацией внешних факторов в зоне ЧС больше подходят для поздних стадий обучения, когда команды обучаемых уже отработали базовые навыки манипуляций, коммуникации, тактики и лидерства. Поэтому сформулированы рекомендации о том, что тренировки проходят ступенчато, начиная с отдельных этапов манипуляций на манекенах. Далее следуют командные тренинги без факторов угроз, но с теми же пострадавшими, в качестве которых здесь чаще выступают манекены. В данном случае факторы среды оговариваются преподавателями устно, но не реализуются фактически. И лишь на заключительном этапе все стрессовые факторы и медицинские аспекты тренингов складываются воедино и служат своеобразным экзаменом для тестирования одновременно всех компетенций обучаемых.

Создание реалистичной ситуационной обстановки при обучении базовым навыкам оказания экстренной помощи является одним из значимых условий формирования навыков СЛР в условиях симуляционного центра [58, 59, 61].

Целесообразно в контексте технологий AR вспомнить о тех трудностях СЛР, которые связаны с построением рационального взаимодействия в группе лиц, вовлеченных в сложившуюся ситуацию ВОК на этапе доклинической помощи. При этом часто проявляются определенная дезорганизация поведения в группе при отсутствии выраженного лидера и предварительного распределения ролей, недостатки понимания функций, владения приемами, а также связь с развитием стресс-индуцированных психических реакций.

В работе [62] проведено исследование с участием активных участников и внешних наблюдателей этого процесса, чтобы оценить выраженность психологического стресса у участников VR-симуляции и причины психологического дискомфорта. По результатам проведенного анкетирования установлено, что, как правило, участники во время работы с «виртуальными» пациентами испытывали умеренный стресс. В частности, факторный анализ выявил три отдельных фактора, соответствующих подтипам воспринимаемого стресса. Первые два фактора – «чувство контроля» и «необходимость действовать», представляют собой виды стресса, которые, как установлено в ряде работ, проявляются в различных контекстах именно медицинского образования. Третий выявленный фактор воспринимаемого стресса под названием «социальное взаимодействие для обучения» основан на предположении, что возможность публично продемонстрировать недостаток знаний, а также ощущение, что за вами наблюдают, также вызывают дискомфорт у активных участников СЛР.

Подводя итоги, можно сказать, что ВОК остается одной из основных причин предотвратимой смертности, что привлекает повышенное внимание к уровню подготовки как медицинского персонала, так и специалистов по ликвидации ЧС. Данное обстоятельство обусловило широкое внедрение симуляционных технологий для обучения оказанию первой помощи широкого круга лиц, несмотря на существующие неоднозначные трактовки нормативно-методического обеспечения оказания первой помощи на догоспитальном этапе.

Для специалистов экстремальных профессий, осуществляющих спасательные операции в аварийных условиях, особенно актуальна необходимость расширения арсенала средств отработки базовой СЛР и формирования комплексных профессиональных компетенций для действий в осложненных условиях ЧС. Перспективным направлением развития тренажерных и обучающих компьютерных систем представляется использование технологий VR/AR, способных минимизировать ошибки, связанные с человеческим фактором, и оптимизировать командное взаимодействие при проведении спасательных операций.

В рамках настоящего исследования проведен систематический анализ данных из различных областей знания, касающихся факторов успешности сердечно-легочной и церебральной реанимации при ВОК, с целью разработки перспективных медико-технических средств оказания неотложной помощи

с учетом современных технологий обучения. Анализ включал изучение международных и национальных рекомендаций по СЛР, факторов выживаемости при оказании первой помощи в ЧС, технологий симуляционного обучения, характеристик современных тренажеров-манекенов, средств ситуационного моделирования и объективного контроля качества реанимационных мероприятий, а также возможностей информационной поддержки командного взаимодействия с использованием VR/AR-технологий.

Иммерсивные технологии в симуляционном обучении позволяют создавать высоко реалистичные интерактивные среды, существенно превосходящие традиционные методы, основанные на теоретическом освоении алгоритмов СЛР и применении методов показа движений на физических манекенах. Ключевые преимущества включают точное воспроизведение терминальных состояний и ответных реакций, возможность многократного повторения сценариев, безопасность обучения, а также адаптивность к индивидуальным потребностям обучаемых. Развитие VR/AR-технологий открывает новые перспективы для создания комплексных тренировочных систем с моделированием командного взаимодействия.

Методика обучения СЛР с использованием иммерсивных технологий предполагает поэтапное освоение навыков. На начальном этапе целесообразно применение 3D-визуализации для формирования когнитивных моделей процедуры. Далее следует отработка моторных навыков на базовых тренажерах с контролем параметров КГК, затем – совершенствование исполнения технических приемов с использованием контура обратной связи, визуализирующих гемодинамические эффекты КГК. Завершающий этап предполагает командные тренировки в виртуальных средах, моделирующих сложные условия оказания помощи при ВОК.

Таким образом, интеграция иммерсивных технологий в симуляционное обучение СЛР представляет собой перспективное направление повышения эффективности подготовки специалистов экстремального профиля деятельности, позволяющее улучшить условия формирования как индивидуальных, так и командных навыков экстренной медицинской помощи.

Выводы

1. Применение VR/AR/MR/XR-технологий в обучении базовой СЛР представляет собой перспективное направление развития симуляционного обучения. Дополнение традиционного симуляционного обучения технологиями VR/AR связано с их способностью формировать компетенции, которые невозможно развить в реальных условиях из-за потенциальной опасности для участников тренинга. Интеграция VR/AR-технологии в симуляционное обучение СЛР обеспечивает безопасную контролируемую среду для отработки практических навыков.

2. VR-технологии создают искусственную 3D-среду, формирующую у обучаемых устойчивые ментальные модели, которые могут быть перенесены

в реальные условия. Данный инструментарий демонстрирует значительный потенциал на этапе начальной подготовки специалистов по СЛР, что может повысить эффективность учебного процесса.

3. Современные технологии симуляционного обучения СЛР включают:

- высокореалистичные физические манекены, моделирующие терминальные состояния и обеспечивающие обратную связь по ключевым параметрам КГК;

- VR-системы, позволяющие создавать разнообразные тренировочные сценарии;

- AR-решения, дополняющие реальную картину цифровой информацией для улучшения ситуационной осведомленности и ориентировки в среде деятельности.

4. Ключевые преимущества иммерсивных технологий в обучении СЛР определяют:

- возможность имитационного моделирования широкого спектра НшС;

- улучшение оперативной обратной связи, позволяющей корректировать предметные действия обучаемых и выявлять ошибки – отклонения от протоколов СЛР;

- повышение вовлеченности и мотивации за счет интерактивности и наглядности.

5. Современные разработки в области VR/AR-технологий, включая системы отслеживания движений глаз и захвата движения, открывают новые перспективы для совершенствования программ обучения СЛР и оценки качества подготовки.

6. Основные ограничения применения высокотехнологичных манекенов с системами обратной связи:

- высокая стоимость оборудования и его обслуживания;

- необходимость привлечения квалифицированного технического персонала;

- требования к постоянному обновлению программного обеспечения.

7. Анализ существующих разработок подтверждает наличие эффективных VR/AR-решений, отвечающих потребностям подготовки специалистов экстремального профиля деятельности к медицинским нештатным ситуациям.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. International Consensus on Cardiopulmonary Resus and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations: Summary From the Basic Life Support; Advanced Life Support; Pediatric Life Support; Neonatal Life Support; Education, Implementation, and Teams; and First Aid Task Forces / R. Greif, J.E. Bray, T. Djärv [et al.]. – DOI: 10.1161/CIR.0000000000001288 // Circulation. – 2024. – No 150(24). – P. e580–e687.
2. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Executive summary / G.D. Perkins, J.T. Graesner, F. Semeraro, T. Olasveengen [et al.]. – DOI: 10.1016/j.resuscitation.2021.02.003 // Resuscitation. – 2021. – No 161. – P. 1–60.

3. Основы базовой сердечно-легочной реанимации: учебное пособие для обучающихся в системе среднего, высшего и дополнительного профессионального образования / В.А. Глущенко, С.А. Володченко, Р.В. Донских, З.А. Зарипова [и др.]. – Санкт-Петербург: НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова, 2024. – 60 с.
Fundamentals of Basic Cardiopulmonary Resus: a Textbook for Students in the System of Secondary, Higher and Additional Professional Education / V.A. Glushchenko, S.A. Volodchenko, R.V. Donskikh, Z.A. Zaripova [et al.]. – Saint Petersburg: N.N. Petrov National Research Medical Center of Oncology, 2024. – 60 p. (In Russian).
4. Сердечно-легочная и церебральная реанимация / В.В. Мороз, И.Г. Бобринская, В.Ю. Васильев [и др.]. – Москва: НИИ ОР РАМН : МГМСУ, 2011. – 48 с.
Cardiopulmonary and Cerebral Resus / V.V. Moroz, I.G. Bobrinskaya, V.Yu. Vasiliev [et al.]. – Moscow: NII OR RAMN : MGMSU, 2011. – 48 p. (In Russian).
5. Интенсивная терапия: национальное руководство: в 2 т. Том 1 / под ред. И.Б. Заболотских, Д.Н. Проценко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2021. – С. 77–112. – ISBN 978-5-9704-6258-4.
Intensive Care: a National Guide: in 2 Vol. Vol. 1 / ed. by I.B. Zabolotskikh, D.N. Protsenko. – 2nd ed. – Moscow: GEOTAR-Media, 2021. – P. 77–112. – ISBN 978-5-9704-6258-4.
6. Emami, P. Enhancing Cardiopulmonary Resuscitation Training Through Virtual Reality Technology: Assessing Efficiency and Impact / P. Emami, M. Boozari Pour. – DOI: 10.30476/beat.2024.101899.1498 // Bull Emerg Trauma. – 2024. – No 12(2). – P. 99–101.
7. Крутий, И.А. Симуляционное обучение в профессиональной подготовке врачей: учебное пособие / ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования». – Москва: ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, 2019. – 79 с.
Krutiy, I.A. Simulation Training in the Professional Training of Doctors: a Textbook / Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Russian Medical Academy of Continuing Professional Education”. – Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education of the Russian Ministry of Health, 2019. – 79 p. (In Russian).
8. Пасечник, И.Н. Практический опыт использования манекена-симулятора ВОЛОДЯ для обучения навыкам базовой сердечно-легочной реанимации специалистов различного профиля / И.Н. Пасечник, П.О. Ильин, Д.О. Старостин // Вестник терапевта. – 2018. – № 7(31). – С. 17–26.
Pasechnik, I.N. Practical Experience of Using the VOLODYA Dummy-Simulator to Teach Basic Cardiopulmonary Resuscitation Skills to Specialists of Various Profiles / I.N. Pasechnik, P.O. Ilyin, D.O. Starostin // Therapist's Bulletin. – 2018. – No 7(31). – P. 17–26 (In Russian).
9. Обучение навыкам сердечно-легочной реанимации на манекене-тренажере: методические указания / В.Л. Гапонов, А.Г. Хвостиков, Е.Ю. Гапонова, С.Е. Гераськова [и др.] // Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2021. – 17 с.
Learning the Skill of Cardiopulmonary Resuscitation On a Human Analog Simulator: Methodical Instructions / V.L. Gaponov, A.G. Hvostikov, E.Yu. Gaponova, S.E. Geras'kova [et al.] // Don State Technical University. – Rostov-on-Don: DSTU, 2021. – 17 p. (In Russian).
10. A Pilot Study of CPR Quality Comparing an Augmented Reality Application vs. a Standard Audio-Visual Feedback Manikin / M. Leary, S.K. McGovern, S. Balian, B.S. Abella [et al.]. – DOI: 10.3389/fdgth.2020.00001 // Frontiersin: electronic journal. – 2020. – No 2. – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/digital-health/articles/10.3389/fdgth.2020.00001/full>. – Date of publication: 28.03.2020.
11. Improving Cardiopulmonary Resuscitation with a CPR Feedback Device and Refresher Simulations (CPR CARES Study): a Randomized Clinical Trial / A. Cheng, L.L. Brown, J.P. Duff, J. Davidson [et al.]. – DOI: 10.1001/jamapediatrics.2014.2616 // JAMA Pediatr: electronic journal. – 2015. – No 169(2). – P. 137–144. – URL: <https://jamanetwork.com/journals/jamapediatrics/fullarticle/2084917>. – Date of publication: Feb. 2015.

12. Психологические факторы адаптации студентов-медиков к симуляционной обучающей среде / Е.О. Клейман, Г.Л. Исурина, И.С. Короткова, И.В. Грандильевская. – DOI: 10.21638/spbu16.2024.308 // Вестник Санкт-Петербургского университета. Психология. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 530–544.
Psychological Factors of Medical Students' Adaptation to a Simulation Learning Environment / E.O. Kleiman, G.L. Isurina, I.S. Korotkova, I.V. Grandilevskaya. – DOI: 10.21638/spbu16.2024.308 // Bulletin of St. Petersburg University. Psychology. – 2024. – Vol. 14, No 3. – P. 530–544.
13. Resuscitating Cardiopulmonary Resuscitation Training in a Virtual Reality: Prospective Interventional Study / J.E. Perron, M.J. Coffey, A. Lovell-Simons, L. Dominguez [et al.]. – DOI: 10.2196/22920 // J Med Internet Res: electronic journal. – 2021. – Vol. 23, No 7. – P. e22920. – URL: <https://www.jmir.org/2021/7/e22920>. – Date of publication: 29.07.2021.
14. Virtual Reality Cardiopulmonary Resuscitation (CPR): Comparison With a Standard CPR Training Mannequin / F. Semeraro, G. Ristagno, G. Giulini, T. Gnudi [et al.]. – DOI: 10.1016/j.resuscitation.2018.12.016 // Resuscitation: electronic journal. – 2019. – No 135. – P. 234–235. – URL: [https://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572\(18\)31108-0/pdf](https://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572(18)31108-0/pdf). – Date of publication: 28.12.2018.
15. Adoption of Augmented Reality in Educational Programs for Nurses in Intensive Care Units of Tertiary Academic Hospitals: Mixed Methods Study / S. Yoo, S. Heo, S. Song, A. Park [et al.]. – DOI: 10.2196/54188 // JMIR Serious Games: electronic journal. – 2024. – No 12. – P. e54188. – URL: <https://games.jmir.org/2024/1/e54188>. – Date of publication: 23.05.2024.
16. Virtual Reality as a Teaching Method for Resuscitation Training in Undergraduate First Year Medical Students During COVID-19 Pandemic: a Randomised Controlled Trial / P. Moll-Khosrawi, A. Falb, H. Pinnschmidt [et al.]. – DOI: 10.1186/s12909-022-03533-1 // BMC Med Educ. – 2022. – No 22. – P. 483. – URL: <https://bmcmmededuc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12909-022-03533-1>. – Date of publication: 22.06.2022.
17. Эффективность тренажера виртуальной реальности при отработке навыков оказания экстренной медицинской помощи / А.В. Колсанов, О.А. Гелашвили, С.С. Чаплыгин, А.К. Назарян. – DOI: 10.17116/operhirurg2021503123 // Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал). – 2021. – № 5(3). – С. 23–29.
Effectiveness of Virtual Reality Simulator in Training Emergency Medical Care Skills / A.V. Kolsanov, O.A. Gelashvili, S.S. Chaplygin, A.K. Nazaryan. – DOI: 10.17116/operhirurg2021503123 // Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy. – 2021. – No 5(3). – P. 23–29 (In Russian).
18. Кузовлев, А.Н. Оценка качества базовых и расширенных реанимационных мероприятий в многопрофильном стационаре (симуляционный курс) / А.Н. Кузовлев, С.Н. Абдусаламов, К.А. Кузьмичев. – DOI: 10.15360/1813-9779-2016-6-27-38 // Общая реаниматология. – 2016. – № 12(6). – С. 27–38.
Kuzovlev, A.N. Assessment of the Quality of Basic and Expanded Resuscitative Measures in a Multifield Hospital (Simulation Course) / A.N. Kuzovlev, S.N. Abdusalamov, K.A. Kuz'michev. – DOI: 10.15360/1813-9779-2016-6-27-38 // General Reanimatology. – 2016. – No 12(6). – P. 27–38 (In Russian).
19. Применение ассистивных и информационных технологий при использовании средств оказания медицинской помощи космонавтам в российском сегменте Международной космической станции / И.Б. Ушаков, В.П. Дашевский, А.В. Поляков, Б.В. Соколов [и др.] // Биотехносфера. – 2013. – № 4(28). – С. 18–33.
Application of Assistive and Information Technologies in the Use of Medical Care for cosmonauts in the Russian Segment of the International Space Station / I.B. Ushakov, V.P. Dashevsky, A.V. Polyakov, B.V. Sokolov [et al.] // Biotechnosphere. – 2013. – No 4(28). – P. 18–33.

20. Application of Computer-Assisted Technologies to Optimization of Medical Care Measures in Piloted Space Exploration Missions / O.I. Orlov, R.V. Chernogorov, O.V. Perevedentsev [et al.]. – DOI: 10.1134/S0362119719070120 // Hum Physiol: electronic journal. – 2019. – No 45. – P. 705–709.
21. Михайлюк, М.В. Технология ситуационного моделирования в системах виртуального окружения / М.В. Михайлюк, Д.А. Кононов, Д.М. Логинов. – DOI: 10.26907/1562-5419-2021-24-5-889-901 // Электронные библиотеки. – 2021. – № 24(5). – С. 889–901.
Mikhaylyuk, M.V. Situational Modeling Technology in Virtual Environment Systems / M.V. Mikhaylyuk, D.A. Kononov, D.M. Loginov. – DOI: 10.26907/1562-5419-2021-24-5-889-901 // Russian Digital Libraries Journal. – 2021. – No 24(5). – P. 889–901.
22. Мальцев, А.В. Методы жестового управления трехмерными объектами и параметрами виртуальной среды с помощью Kinect / А.В. Мальцев, М.В. Михайлюк, П.Ю. Тимохин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 3(19). – С. 147–156.
Maltsev, A.V. Methods of Gestural Control of Three-Dimensional Objects and Virtual Environment Parameters Using Kinect / A.V. Maltsev, M.V. Mikhaylyuk, P.Yu. Timokhin // Models, Systems, and Networks in Economics, Technology, Nature, and Society. – 2016. – No 3(19). – P. 147–156 (In Russian).
23. Асланов, Р.Э. Симулятор виртуальной реальности по оказанию первой медицинской помощи для использования при обучении персонала АСУП / Р.Э. Асланов, А.А. Большаков. – DOI: 10.24143/2072-9502-2023-2-52-65 // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2023. – № 2. – С. 52–65.
Aslanov, R.E. Virtual Reality Simulator on First Aid for Training Staff in APCS / R.E. Aslanov, A.A. Bolshakov. – DOI: 10.24143/2072-9502-2023-2-52-65 // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics. – 2023. – No 2. – P. 52–65 (In Russian).
24. Потемкина, М.Н. Опыт применения иммерсивных технологий в медицинском образовании / М.Н. Потемкина. – DOI: 10.46594/2687-0037_2024_3_1884 // Виртуальные технологии в медицине. – 2024. – № 3. – С. 204–206.
Potemkina, M.N. Experience of Using Immersive Technologies in Medical Education / M.N. Potemkina. – DOI: 10.46594/2687-0037_2024_3_1884 // Virtual Technologies in Medicine. – 2024. – No 3. – P. 204–206 (In Russian).
25. Смешанное дистанционно-аудиторное обучение как альтернатива традиционному аудиторному обучению базовой сердечно-легочной реанимации и автоматической наружной дефибрилляции / А.А. Биркун, И.В. Алтухова, Е.А. Перова, Л.П. Фролова [и др.]. – DOI: 10.23934/2223-9022-2019-8-2-145-151 // Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь». – 2019. – № 8(2). – С. 145–151.
Blended Distance-classroom Training as an Alternative to the Traditional Classroom Training in Basic Cardiopulmonary Resuscitation and Automated External Defibrillation / A.A. Birkun, I.V. Altukhova, E.A. Perova, L.P. Frolova [et al.]. – DOI: 10.23934/2223-9022-2019-8-2-145-151 // Russian Sklifosovsky Journal Emergency Medical Care. – 2019. – No 8(2). – P. 145–151 (In Russian).
26. Development of an Extended Reality Simulator for Basic Life Support Training / D.K. Lee, H. Choi, S. Jheon, Y.H. Jo [et al.]. – DOI: 10.1109/JTEHM.2022.3152365 // IEEE J Transl Eng Health Med: electronic journal. – 2022. – No 10. – P. 4900507.
27. Effect of Face-to-Face vs Virtual Reality Training on Cardiopulmonary Resuscitation Quality: A Randomized Clinical Trial / J. Nas, J. Thannhauser, P. Vart, R.J. van Geuns [et al.]. – DOI: 10.1001/jamacardio.2019.4992 // JAMA Cardiology: electronic journal. – 2020. – No 5(3). – P. 328–335.

28. Extended Reality in Medical Practice / C. Andrews, M.K. Southworth, J.N.A. Silva, J.R. Silva. – DOI: 10.1007/s11936-019-0722-7 // Current Treatment Options Cardiovascular Med: electronic journal. – 2019. – No 21(4). – P. 18.
29. Augmented Reality Learning Environment for Basic Life Support and Defibrillation Training: Usability Study / P.L. Ingrassia, G. Mormando, E. Giudici, F. Strada [et al.]. – DOI: 10.2196/14910 // J Med Internet Res: electronic journal. – 2020. – No 22(5). – P. e14910.
30. Boonbrahm, P. Interactive Marker-based Augmented Reality for CPR Training / P. Boonbrahm, C. Kaewrat, S. Boonbrahm. – DOI: 10.14716/ijtech.v10i7.3267 // International Journal of Technology: electronic journal. – 2019. – No 10(7). – P. 1326–1334.
31. Virtual Reality, Augmented Reality, Augmented Virtuality, or Mixed Reality in Cardiopulmonary Resuscitation: Which Extended Reality am I Using for Teaching Adult Basic Life Support? / N. Fijačko, Š. Metličar, J. Kleesiek, J. Egger [et al.]. – DOI: 10.1016/j.resuscitation.2023.109973 // Resuscitation: electronic journal. – 2024. – No 192. – P. 109973.
32. Effectiveness of Virtual and Augmented Reality for Cardiopulmonary Resuscitation Training: a Systematic Review and Meta-Analysis / R. Sun, Y. Wang, Q. Wu [et al.]. – DOI: 10.1186/s12909-024-05720-8 // BMC Med Educ: electronic journal. – 2024. – No 24. – P. 730.
33. Impact of Virtual, Augmented or Mixed Reality in Basic Life Support Training: A Scoping Review / E. Dubreucq, De La Vega S. Barlocco, J. Bouaoud, A. Philippon [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ecns.2024.101672 // Clinical Simulation in Nursing. – 2025. – No 99. – P. 101672.
34. Use of Augmented and Virtual Reality in Resuscitation Training: A Systematic Review / A. Cheng, N. Fijačko, A. Lockey, R. Greif [et al.]. – DOI: 1016/j.resplu.2024.100643 // Resuscitation Plus. – 2024. – No 18. – P. 100643.
35. Efficiency of Virtual Reality for Cardiopulmonary Resuscitation Training of Adult Laypersons: A Systematic Review / P.M. Alcázar Artero, M. Pardo Rios, R. Greif, A.B. Ocampo Cervantes [et al.]. – DOI: 10.1097/MD.00000000000032736 // Medicine (Baltimore). – 2023. – No 102(4). – P. e32736.
36. Virtual Reality for Cardiopulmonary Resuscitation Healthcare Professionals Training: A Systematic Review / R. Trevi, S. Chiappinotto, A. Palese, A. Galazzi. – DOI: 10.1007/s10916-024-02063-1 // Journal of Medical Systems. – 2024. – No 48(1). – P. 50.
37. Buttussi, F. Virtual Reality Methodology for Cardiopulmonary Resuscitation Training With and Without a Physical Mannequin / F. Buttussi, L. Chittaro, F.A. Valent. – DOI: 10.1016/j.jbi.2020.103590 // J Biomed Inform. – 2020. – No 111. – P. 103590.
38. The Use of Virtual Reality and Augmented Reality to Enhance Cardio-Pulmonary Resuscitation: a Scoping Review / K. Kuyt, S.H. Park, T.P. Chang [et al.]. – DOI: 10.1186/s41077-021-00158-0 // Adv Simul. – 2021. – No 6(11).
39. Study on the Application Effect of Problem-Based Learning With Situational Simulation Teaching Method in Cardiopulmonary Resuscitation Training / Yang Jie, Wang Meifang, Xu Shunjuan, Bian Yali. – DOI: 10.22514/sv.2024.115 // Signa Vitae. – 2024. – No 20(9). – P. 84–90.
40. Construction process of a Virtual Learning Environment in Adult Cardiopulmonary Resuscitation / I.N. Mendes [et al.]. – DOI: 10.22161/ijaers.85.21 // International Journal of Advanced Engineering Research and Science. – 2021. – No 5(8). – P. 183–190.
41. Viewpoint: Virtual and Augmented Reality in Basic and Advanced Life Support Training / S. Ricci, A. Calandrino, G. Borgonovo, M. Chirico [et al.]. – DOI: 10.2196/28595 // JMIR Serious Games: electronic journal. – 2022. – No 10(1). – P. e28595.
42. Сквозные субтехнологии в кластере виртуальной и дополненной реальности / В.А. Жмудь, А.В. Ляпидевский, В.С. Аврамчук, Г. Рот // Автоматика и программная инженерия. – 2019. – № 2(28). – С. 86–97.
End-to-end Sub-Technologies in the Virtual and Augmented Reality Cluster / V.A. Zhmud', A.V. Ljapidevskij, V.S. Avramchuk, G. Rot // Automation and Software Engineering. – 2019. – No 2(28). – P. 86–97 (In Russian).

43. Возможности применения биомеханических систем захвата движений человека в медицинской реабилитации (обзор) / Г.Е. Шейко, А.Н. Белова, Н.Н. Рукина, Н.Л. Короткова. – DOI: 10.36425/rehab109488 // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. – 2022. – Т. 4, № 3. – С. 181–196.
Possibilities of Using Biomechanical Human Motion Capture Systems in Medical Rehabilitation (review) / G.E. Sheiko, A.N. Belova, N.N. Rukina, N.L. Korotkova. – DOI: 10.36425/rehab109488 // Physical and Rehabilitation Medicine, Medical Rehabilitation. – 2022. – Vol. 4, No 3. – P. 181–196 (In Russian).
44. Design and Research of an Automatic Grasping System for a Robot Arm Based on Visual Image Capture Technology / X. Liu, S. Ren, G. Wang, L. Ma [et al.]. – DOI: 10.3389/fmech.2024.1364394 // Front. Mech. Eng. – 2024. – No 10. – P. 1364394.
45. Automatic Detection and Recognition of 3D Manual Gestures for Human-Machine Interaction / D. Ryumin, I. Kagirow, D. Ivanko, A. Axyonov [et al.]. – DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W12-179-2019 // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives. – 2019. – Vol. 42: 2/W12. – P. 179–183.
46. Alves, R. Cost-effective Indoor Localization for Autonomous Robots Using Kinect and WiFi Sensors / R. Alves, J. Morais, K. Yamanaka. – DOI: 10.4114/intartif.vol23iss65pp33-55 // Intel. Artif. Rev. Iberoam. Intel. Artif. – 2020. – No 23(65). – P. 33–55.
47. Ахмадалиев, Ш.Ш. Гиперимитация: интеграция манекенов с виртуальной реальностью при изучении кардиопульмональной реанимации / Ш.Ш. Ахмадалиев, У.Д. Усмонов, М.А. Ахмадалиева. – DOI: 10.46594/2687-0037_2023_1_1604 // Виртуальные технологии в медицине. – 2023. – № 1. – С. 48–51.
Akhmadaliyev, Sh.Sh. Hypersimulation: Integrating Manikins With Virtual Reality in the Study of Cardiopulmonary Resuscitation / Sh.Sh. Akhmadaliyev, U.D. Usmonov, M.A. Akhmadaliyeva. – DOI: 10.46594/2687-0037_2023_1_1604 // Virtual Technologies in Medicine. – 2023. – No 1. – P. 48–51 (In Russian).
48. Горшков, М.Д. Виртуальные симуляторы: обзор, устройство и классификация / М.Д. Горшков. – DOI: 10.46594/2687-0037_2017_1_17 // Виртуальные технологии в медицине. – 2017. – № 1. – С. 17–26.
Gorshkov, M.D. Virtual Reality Simulators: Review, Construction, Classification / M.D. Gorshkov. – DOI: 10.46594/2687-0037_2017_1_17 // Virtual Technologies in Medicine. 2017. – No 1. – P. 17–26 (In Russian).
49. Летков, В.В. Взаимодействие пользователя с дополненной реальностью / В.В. Летков, С.А. Ефремов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2020. – № 1. – С. 107–110.
Letkov, V.V. User Interaction With Augmented Reality / V.V. Letkov, S.A. Efremov // Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences. – 2020. – No 1. – P. 107–110 (In Russian).
50. Choi, M-J. Effects of Team-Based Mixed Reality Simulation Program in Emergency Situations / M-J. Choi, K-J. Kim. – DOI: 10.1371/journal.pone.0299832 // PLoS ONE. – 2024. – No 19(2). – P. e0299832.
51. Laco, R.B. Simulation-Based Training Program to Improve Cardiopulmonary Resuscitation and Teamwork Skills for the Urgent Care Clinic Staff / R.B. Laco, W.P. Stuart. – DOI: 10.1093/milmed/usab198 // Mil Med. – 2022. – No 187(56). – P. e764–e769.
52. Буреев, А.Ш. Устройство автоматического контроля параметров компрессии грудной клетки человека при сердечно-легочной реанимации / А.Ш. Буреев, Д.С. Жданов, В.И. Сырямкин // Вестник науки Сибири. – 2011. – № 1(1). – С. 162–166.
Bureev, A.Sh. Device for Automatic Control of Human Chest Compression Parameters in Cardiopulmonary Resuscitation / A.Sh. Bureev, D.S. Zhdanov, V.I. Syryamkin // Bulletin of Siberian Science. – 2011. – No 1(1). – P. 162–166.

53. Emerging Trends in Gamification for Clinical Reasoning Education: a Scoping Review / C.Y. Lee, C.H. Lee, H.Y. Lai [et al.]. – DOI: 10.1186/s12909-025-07044-7 // BMC Med Educ. – 2025. – No 25(1). – P. 435.
54. Effect of Socioemotional Stress on the Quality of Cardiopulmonary Resuscitation During Advanced Life Support in a Randomized Manikin Study / C.A. Bjorshol, H. Myklebust, K.L. Nilsen, T. Hoff [et al.]. – DOI: 10.1097/CCM.0b013e3181ffe100 // Crit Care Med. – 2011. – No 39(2). – P. 300–304.
55. Dynamics and Association of Different Acute Stress Markers With Performance During a Simulated Resuscitation / S. Hunziker, N.K. Semmer, F. Tschan, P. Schuetz [et al.]. – DOI: 10.1016/j.resuscitation.2011.11.013 // Resuscitation. – 2012. – No 83(5). – P. 572–578.
56. Perceived Stress and Team Performance During a Simulated Resuscitation / S. Hunziker, L. Laschinger, S. Portmann-Schwarz, N.K. Semmer [et al.]. – DOI: 10.1007/s00134-011-2277-2 // Intensive Care Medicine. – 2011. – No 37(9). – P. 1473–1479.
57. Impact of a Stress Coping Strategy on Perceived Stress Levels and Performance During a Simulated Cardiopulmonary Resuscitation: a Randomized Controlled Trial / S. Hunziker, S. Pagani, K. Fasler, F. Tschan [et al.]. – DOI: 10.1186/1471-227X-13-8 // BMC Emerg Medicine. – 2013. – No 13. – P. 8.
58. Роль симуляционных технологий в отработке навыков сердечно-легочной реанимации / Ю.А. Юдаева, М.Е. Лыскина, О.А. Негодяева, Д.М. Снасапова [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 3 – С. 141–155.
The Simulation Technologies Role in the Development of Skills of Cardiopulmonary Resuscitation / Yu.A. Yudaeva, M.E. Lyskina, O.A. Negodyaeva, D.M. Snasapova [et al.] // Modern Problems of Science and Education. – 2019. – No 3. – P. 141–155.
59. Юдаева, Ю.А. Симуляционные технологии в цикле профессиональной переподготовки по специальности «Функциональная диагностика» / Ю.А. Юдаева, М.В. Баталина. – DOI: 10.46594/2687-0037_2022_1_1420 // Виртуальные технологии в медицине. – 2022. – №1(1). – С. 10–15.
Yudaeva, Yu.A. Simulation Technologies in the Professional Retraining Cycle in the “Functional Diagnostics” Specialty / Yu.A. Yudaeva, M.V. Batalina. – DOI: 10.46594/2687-0037_2022_1_1420 // Virtual Technologies in Medicine. – 2022. – No 1(1). – P. 10–15.
60. Эффективность тренингов оказания первой помощи в реалистичной симулированной среде / И.И. Долгина, В.В. Савич, И.Г. Долженкова, М.Ф. Григорьян. – DOI: 10.46594/2687-0037_2020_3_1206 // Виртуальные технологии в медицине. – 2020. – № 3(25). – С. 58–59.
Effectiveness of First Aid Training in a Realistic Simulated Environment / I.I. Dolgina, V.V. Savich, I.G. Dolzhenkova, M.F. Grigorian. – DOI 10.46594/2687-0037_2020_3_1206 // Virtual Technologies in Medicine. – 2020. – No 3(25). – P. 58–59.
61. Баранов, А.В. Современный взгляд на состояние оказания первой помощи пострадавшим в дорожно-транспортных происшествиях / А.В. Баранов. – DOI: 10.23934/2223-9022-2020-9-3-417-421 // Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь». – 2020. – № 9(3) – С. 417–421.
Baranov, A.V. A Modern View on the State of First Aid to Victims of Traffic Accidents / A.V. Baranov. – DOI: 10.23934/2223-9022-2020-9-3-417-421 // N.V. Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care. – 2020. – No 9(3). – P. 417–421 (In Russian).
62. Virtual Reality in Medical Emergencies Training: Benefits, Perceived Stress, and Learning Success / T. Mühling, I. Späth, J. Backhaus [et al.]. – DOI: 10.1007/s00530-023-01102-0 // Multimedia Systems. – 2023. – No 29. – P. 2239–2252.