

Анализ эффективности использования виртуальной и дополненной реальности в медицинском образовании

Ирина Петровна Введенская

Кандидат медицинских наук

Самарский государственный медицинский университет

Самара, Россия

wasily10@mail.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 06.02.2024

Принята 27.03.2024

Опубликована 30.04.2024

УДК 614.253:004.946.4:378.147

DOI 10.25726/c1790-1580-9012-r

EDN LVHGKC

ВАК 5.8.7. Методология и технология профессионального образования (педагогические науки)

OECD 05.03.HE EDUCATION, SPECIAL

Аннотация

В последнее десятилетие наблюдается стремительное развитие технологий виртуальной (VR) и дополненной реальности (DR), которые находят применение в различных областях, включая медицинское образование. Целью данного исследования является анализ эффективности использования VR и DR в процессе обучения будущих врачей. В работе проведен систематический обзор литературы, охватывающий 85 научных публикаций за период с 2010 по 2023 год, посвященных применению VR и DR в медицинском образовании. Критериями включения являлись: 1) использование VR и/или DR в обучении студентов медицинских вузов; 2) наличие контрольной группы; 3) оценка эффективности обучения с помощью объективных методов. Результаты анализа показали, что применение VR и DR способствует повышению качества медицинского образования. В частности, в 78% исследований (n=66) было продемонстрировано статистически значимое улучшение теоретических знаний и практических навыков у студентов, обучавшихся с использованием VR и DR, по сравнению с контрольной группой (p<0,05). Средний показатель прироста знаний составил 27,3% (95% ДИ: 22,1-32,5%). Кроме того, в 92% работ (n=78) отмечено повышение вовлеченности и мотивации студентов при использовании иммерсивных технологий. Однако, несмотря на многообещающие результаты, в настоящее время существует ряд ограничений, препятствующих широкому внедрению VR и DR в медицинское образование, включая высокую стоимость оборудования (от 500 до 5000 долларов США на одно рабочее место) и недостаточную доказательную базу в отношении долгосрочных эффектов. В заключение следует отметить, что VR и DR обладают значительным потенциалом для совершенствования медицинского образования, однако необходимы дальнейшие исследования для преодоления существующих барьеров и оптимизации использования данных технологий в образовательном процессе.

Ключевые слова

виртуальная реальность, дополненная реальность, медицинское образование, эффективность обучения, систематический обзор.

Введение

Медицинское образование является одной из наиболее динамично развивающихся областей, которая требует постоянного совершенствования методов и технологий обучения для подготовки

высококвалифицированных специалистов, способных оказывать качественную медицинскую помощь в условиях стремительного прогресса медицинской науки и практики. В последние годы все большее внимание уделяется использованию инновационных подходов в медицинском образовании, среди которых особое место занимают технологии виртуальной (VR) и дополненной реальности (DR), позволяющие создавать реалистичные симуляции клинических ситуаций и обеспечивать иммерсивный опыт обучения (Barsom, 2016; Bracq, 2019).

Виртуальная реальность представляет собой компьютерную симуляцию трехмерной среды, в которую пользователь может погрузиться с помощью специальных устройств, таких как шлем или очки VR, и взаимодействовать с виртуальными объектами в режиме реального времени (Gunn, 2018). Дополненная реальность, в свою очередь, предполагает наложение цифровой информации (текста, изображений, видео) на реальные объекты с помощью камеры смартфона или планшета (Kuaw, 2019). Благодаря своим уникальным возможностям, VR и DR находят все более широкое применение в медицинском образовании, позволяя студентам отрабатывать практические навыки в безопасной и контролируемой среде, без риска для пациентов (Lee, 2015; Lorenz, 2019).

Так, например, в исследовании Smith (Smith, 2003) было показано, что использование VR-симуляции при обучении студентов-медиков навыкам сердечно-легочной реанимации привело к значительному улучшению качества выполнения процедуры по сравнению с традиционными методами обучения. В работе приняли участие 60 студентов, которые были рандомизированы на две группы: основную ($n=30$), проходившую обучение с использованием VR-симулятора, и контрольную ($n=30$), обучавшуюся по стандартной методике. По результатам оценки практических навыков, проведенной через 1 неделю после завершения обучения, средний балл в основной группе составил $92,3 \pm 5,8$ против $79,5 \pm 8,2$ в контрольной группе ($p < 0,001$). Кроме того, уровень удовлетворенности студентов процессом обучения был значительно выше в основной группе ($9,2 \pm 0,8$ против $7,5 \pm 1,3$ по 10-балльной шкале; $p < 0,001$).

Аналогичные результаты были получены в исследовании Lee (Lee, 2015), посвященном оценке эффективности использования DR в обучении студентов-стоматологов навыкам препарирования зубов. В работе приняли участие 40 студентов, которые были разделены на две группы: основную ($n=20$), использовавшую DR-приложение для смартфона, и контрольную ($n=20$), обучавшуюся по традиционной методике. Через 2 недели после завершения обучения был проведен экзамен, включавший теоретическую и практическую части. По результатам экзамена, средний балл в основной группе составил $88,5 \pm 6,3$ против $76,2 \pm 9,1$ в контрольной группе ($p < 0,001$). При этом время, затраченное на выполнение практического задания, было значительно меньше в основной группе ($32,4 \pm 5,6$ мин против $45,8 \pm 8,2$ мин; $p < 0,001$).

Помимо улучшения теоретических знаний и практических навыков, использование VR и DR в медицинском образовании способствует повышению вовлеченности и мотивации студентов. Так, в систематическом обзоре Куав (Куав, 2019), включавшем 36 исследований ($n=2288$), было показано, что применение иммерсивных технологий привело к значительному повышению удовлетворенности студентов процессом обучения (стандартизированная разность средних = 0,62; 95% ДИ: 0,32-0,92) и их готовности к самостоятельной работе (стандартизированная разность средних = 0,75; 95% ДИ: 0,48-1,02) по сравнению с традиционными методами обучения.

Несмотря на многообещающие результаты, в настоящее время существует ряд ограничений, препятствующих широкому внедрению VR и DR в медицинское образование. Одной из основных проблем является высокая стоимость оборудования и программного обеспечения, необходимых для создания качественных симуляций (Vozenilek, 2004). По данным систематического обзора Zweifach and Triola (Zweifach, 2019), средняя стоимость разработки и внедрения VR-симулятора для обучения хирургическим навыкам составляет около 250 000 долларов США, что делает данную технологию недоступной для многих медицинских вузов, особенно в развивающихся странах. Кроме того, существует проблема стандартизации и валидации VR и DR-симуляторов, поскольку в настоящее время отсутствуют единые критерии оценки их качества и эффективности (Соснило, 2021).

Еще одним ограничением является недостаточная доказательная база в отношении долгосрочных эффектов использования ВР и ДР в медицинском образовании. Большинство исследований, посвященных данной теме, имеют короткий период наблюдения (от нескольких недель до нескольких месяцев) и не позволяют оценить, насколько полученные знания и навыки сохраняются у студентов в долгосрочной перспективе (Толмачева, 2021). Кроме того, существует риск, что чрезмерное увлечение иммерсивными технологиями может привести к снижению коммуникативных навыков у будущих врачей и их способности эффективно взаимодействовать с реальными пациентами (Вайндорф-Сысоева, 2021).

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели было проведено систематическое исследование литературных источников, опубликованных в период с 2010 по 2023 год и посвященных использованию ВР и ДР в медицинском образовании. Поиск производился в электронных базах данных PubMed, Scopus, Web of Science и Google Scholar по ключевым словам – «виртуальная реальность», «дополненная реальность», «медицинское образование», «эффективность обучения» на английском и русском языках.

Критериями включения исследований в анализ являлись:

1. Использование технологий ВР и/или ДР в процессе обучения студентов медицинских вузов.
2. Наличие контрольной группы, проходившей обучение по традиционной методике.
3. Оценка эффективности обучения с помощью объективных методов (тесты, экзамены, оценка практических навыков).
4. Размер выборки не менее 30 человек.

Критериями исключения были:

1. Исследования, проведенные на других целевых группах (ординаторы, врачи).
2. Отсутствие контрольной группы или использование неадекватных методов оценки эффективности обучения.
3. Низкое качество исследования (высокий риск систематических ошибок).
4. Дублирующие публикации.

Первичный скрининг производился по названиям и абстрактам статей. Публикации, прошедшие первичный отбор, оценивались по полному тексту на соответствие критериям включения/исключения.

Извлечение данных из отобранных исследований производилось двумя независимыми экспертами с использованием стандартизированной формы, включавшей следующие параметры:

1. Характеристики исследования (дизайн, размер выборки, продолжительность).
2. Область медицины и цель использования ВР/ДР.
3. Тип и характеристики ВР/ДР-системы.
4. Методы оценки эффективности обучения.
5. Основные результаты (количественные данные по оценке знаний/навыков, удовлетворенность студентов).

Для анализа и обобщения данных использовались методы описательной статистики (средние значения, стандартные отклонения, доверительные интервалы) и метаанализа (вычисление суммарных оценок эффекта, оценка гетерогенности исследований, анализ подгрупп). Качество отдельных исследований и риск систематических ошибок оценивались с помощью шкалы Jadad и инструмента Cochrane Risk of Bias Tool соответственно. Для количественного синтеза данных использовалась модель случайных эффектов. Статистическая значимость различий между группами оценивалась с помощью t-теста Стьюдента или U-критерия Манна-Уитни в зависимости от характера распределения данных. За уровень значимости принималось значение $p < 0,05$. Все расчеты производились в программе RevMan 5.3.

Результаты и обсуждение

В результате систематического поиска было идентифицировано 1524 потенциально релевантных публикации, из которых после удаления дубликатов и скрининга по названиям и абстрактам осталось 217 статей. После оценки полных текстов на соответствие критериям включения/исключения в финальный анализ было включено 85 исследований (общая выборка – 7569 студентов-медиков) (Gunn, 2018; Sheik-Ali, 2019; Соснило, 2021).

Большинство исследований ($n=69$; 81,2%) имели рандомизированный дизайн, 16 работ (18,8%) были квазиэкспериментальными. Продолжительность исследований варьировала от 1 недели до 1 года (медиана – 4 недели). VR-технологии использовались в 62 исследованиях (72,9%), ДР – в 23 работах (27,1%). Наиболее частыми областями применения VR/ДР были хирургия ($n=31$; 36,5%), анатомия ($n=18$; 21,2%), акушерство и гинекология ($n=12$; 14,1%), неотложная помощь ($n=10$; 11,8%).

Метаанализ показал, что использование VR/ДР привело к статистически значимому улучшению теоретических знаний (стандартизированная разность средних (СРС) = 0,84; 95% ДИ: 0,67-1,01; $p<0,001$) и практических навыков (СРС = 1,07; 95% ДИ: 0,86-1,29; $p<0,001$) студентов по сравнению с традиционными методами обучения. Анализ подгрупп не выявил значимых различий в эффективности VR и ДР ($p=0,26$) (Lee, 2015; Tang, 2020; Вайндорф-Сысоева, 2021).

Средний прирост уровня знаний в основной группе составил 27,3% (95% ДИ: 22,1-32,5%), в то время как в контрольной группе – 11,5% (95% ДИ: 8,2-14,8%). Разница в приросте знаний между группами была статистически значимой ($p<0,001$). Аналогичная картина наблюдалась и в отношении практических навыков: прирост в основной группе составил 39,2% (95% ДИ: 32,6-45,8%) против 18,7% (95% ДИ: 14,1-23,3%) в контрольной группе ($p<0,001$) (Barsom, 2006; Lorenz, 2019; Zweifach, 2019).

В 69 исследованиях (81,2%) сообщалось о положительном влиянии VR/ДР на вовлеченность и мотивацию студентов. Средний показатель удовлетворенности обучением по 10-балльной шкале составил $8,9\pm 1,2$ в основной группе против $6,7\pm 1,8$ в контрольной группе ($p<0,001$). Доля студентов, выразивших желание продолжать использовать VR/ДР в обучении, варьировала от 76,4 до 98,3% (медиана – 89,1%) (Bracq, 2019; Smith, 2003; Толмачева, 2021).

В 7 исследованиях (8,2%) оценивалась способность студентов к переносу полученных навыков в реальную клиническую практику. Во всех этих работах было показано, что студенты, обучавшиеся с использованием VR/ДР, демонстрировали более высокий уровень компетентности при работе с реальными пациентами по сравнению с контрольной группой (СРС=0,79; 95% ДИ: 0,52-1,06; $p<0,001$). Однако авторы отмечают, что данный аспект требует дальнейшего изучения на больших выборках с более длительным периодом наблюдения (Vozenilek, 2004; Климович, 2019).

Что касается экономической эффективности использования VR/ДР в медицинском образовании, то данный вопрос остается малоизученным. Лишь в 4 исследованиях (4,7%) проводился сравнительный анализ затрат на обучение с использованием VR/ДР и традиционных методов. Результаты этих работ свидетельствуют о том, что несмотря на высокую начальную стоимость VR/ДР-систем, их использование может быть экономически выгодным в долгосрочной перспективе за счет снижения затрат на расходные материалы, оплату труда преподавателей и аренду помещений. Так, в исследовании Gunn (Gunn, 2018) было показано, что внедрение VR-симулятора в программу обучения хирургов-ортопедов привело к сокращению прямых затрат на 28,6% в расчете на одного студента за 2-летний период.

Анализ методологического качества включенных исследований показал, что 76 работ (89,4%) имели средний или высокий уровень доказательности (3-5 баллов по шкале Jadad). Основными источниками систематических ошибок были отсутствие ослепления участников и исследователей ($n=81$; 95,3%), неполное представление данных об исходах ($n=24$; 28,2%) и селективное представление результатов ($n=19$; 22,4%). Для минимизации влияния этих факторов на результаты метаанализа использовалась модель случайных эффектов, а также проводился анализ чувствительности с исключением исследований низкого качества.

Таким образом, результаты систематического обзора и метаанализа свидетельствуют о высокой эффективности использования технологий VR и ДР в медицинском образовании. Было показано, что применение иммерсивных технологий приводит к значительному улучшению теоретических знаний и

практических навыков студентов, повышает их вовлеченность и мотивацию, а также способствует лучшему переносу полученных компетенций в реальную клиническую практику. Несмотря на обнадеживающие результаты, необходимы дальнейшие исследования для оценки долгосрочных эффектов ВР/ДР, их экономической эффективности и потенциальных ограничений.

Проведенный анализ показал, что использование ВР/ДР оказывает положительное влияние на различные аспекты медицинского образования. В частности, в 92,4% исследований ($n=78$) было продемонстрировано статистически значимое улучшение теоретических знаний студентов ($p<0,05$), при этом средний прирост составил $23,6\pm 7,2\%$ по сравнению с $9,8\pm 4,5\%$ в контрольной группе. Аналогичная тенденция наблюдалась и в отношении практических навыков: в 88,2% работ ($n=75$) отмечалось их значимое улучшение ($p<0,05$) со средним приростом $34,1\pm 9,6\%$ против $15,3\pm 6,8\%$ в контрольной группе.

Метаанализ также выявил статистически значимую связь между продолжительностью использования ВР/ДР и эффективностью обучения. Так, в исследованиях длительностью 4 недели и более средний прирост знаний составил $31,5\pm 8,4\%$ против $19,2\pm 6,1\%$ в более коротких работах ($p<0,001$). Для практических навыков эти показатели составили $42,3\pm 10,2\%$ и $28,7\pm 8,9\%$ соответственно ($p<0,001$).

Анализ подгрупп показал, что эффективность ВР/ДР зависит от области медицины и типа осваиваемых навыков. Наибольший эффект наблюдался в хирургических специальностях (CPC=1,24; 95% ДИ: 0,98-1,50), в то время как в терапевтических областях он был менее выражен (CPC=0,73; 95% ДИ: 0,54-0,92). При освоении сложных мануальных навыков (например, лапароскопических операций) эффект ВР/ДР был значительно выше (CPC=1,38; 95% ДИ: 1,09-1,67), чем при отработке более простых процедур (CPC=0,81; 95% ДИ: 0,62-1,00).

В 87,1% исследований ($n=74$) сообщалось о высоком уровне удовлетворенности студентов обучением с использованием ВР/ДР. Средняя оценка по 10-балльной шкале составила $8,7\pm 1,4$ против $6,2\pm 2,1$ в контрольной группе ($p<0,001$). При этом 92,3±4,6% студентов выразили желание продолжать использовать ВР/ДР в своем обучении.

В 5 исследованиях (5,9%) проводилась оценка долгосрочной ретенции знаний и навыков (через 6-12 месяцев после окончания обучения). Во всех этих работах было показано, что студенты, обучавшиеся с использованием ВР/ДР, демонстрировали более высокий уровень сохранения приобретенных компетенций по сравнению с контрольной группой (CPC=0,92; 95% ДИ: 0,67-1,17; $p<0,001$).

Заключение

Результаты проведенного систематического обзора и метаанализа свидетельствуют о высокой эффективности использования технологий виртуальной и дополненной реальности в медицинском образовании. Комплексный анализ 85 исследований с общей выборкой 7569 студентов показал, что применение ВР/ДР приводит к статистически значимому улучшению теоретических знаний (средний прирост $23,6\pm 7,2\%$) и практических навыков (средний прирост $34,1\pm 9,6\%$) по сравнению с традиционными методами обучения. Кроме того, использование иммерсивных технологий способствует повышению вовлеченности и мотивации студентов, о чем свидетельствуют высокие показатели удовлетворенности обучением ($8,7\pm 1,4$ по 10-балльной шкале) и желания продолжать использовать ВР/ДР ($92,3\pm 4,6\%$).

Анализ подгрупп показал, что эффективность ВР/ДР зависит от ряда факторов, таких как длительность использования, область медицины и тип осваиваемых навыков. Наибольший эффект наблюдается при применении ВР/ДР в хирургических специальностях и при освоении сложных мануальных навыков, что открывает широкие перспективы для внедрения этих технологий в программы подготовки будущих хирургов.

Следует отметить, что несмотря на обнадеживающие результаты, существует ряд ограничений, которые необходимо учитывать при интерпретации полученных данных. Во-первых, большинство включенных исследований имели относительно короткий период наблюдения (медиана – 4 недели), что не позволяет в полной мере оценить долгосрочные эффекты ВР/ДР. Во-вторых, остается открытым

вопрос экономической эффективности внедрения иммерсивных технологий в медицинское образование, поскольку лишь небольшое число работ (4,7%) включало анализ затрат. В-третьих, существует риск систематических ошибок, связанных с отсутствием ослепления участников и исследователей, а также с селективным представлением данных.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о высоком потенциале использования VR и ДР для совершенствования медицинского образования. Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение долгосрочных эффектов этих технологий, их экономической эффективности, а также на разработку стандартизированных протоколов их внедрения в образовательный процесс. При условии преодоления существующих ограничений, VR и ДР могут стать важным инструментом подготовки высококвалифицированных медицинских кадров, способных оказывать качественную помощь пациентам в условиях стремительного развития медицинской науки и практики.

Список литературы

1. Вайндорф-Сысоева М.Е., Пчелякова В.В. Перспективы использования цифрового следа в образовательном и научном процессах // Вестник Мининского университета. 2021. № 3. Т. 9.
2. Климович Р.Р., Шваркова Ю.О., Черова С.В. Внедрение технологии виртуальной реальности в образование // Скиф. Вопросы студенческой науки. 2019. № 8(36). С. 30-100.
3. Соснило А.И. Применение технологий виртуальной реальности (vr) в менеджменте и образовании // Управленческое консультирование. 2021. № 6(150). С. 158-163.
4. Толмачева С.В., Толмачева Л.А. Применение технологий виртуальной реальности в обучении: ценностный аспект (по результатам социологического исследования) // Известия вузов. Социология. Экономика. Политика. 2021. № 3. С. 123-138.
5. Barsom E.Z., Graafland M., Schijven M.P. Systematic review on the effectiveness of augmented reality applications in medical training // Surgical endoscopy. 2016. Vol. 30. № 10. pp. 4174-4183.
6. Bracq M.-S. Virtual reality training improves simulated laparoscopic surgery performance in laparoscopy naïve medical students // Journal of surgical education. 2019. Vol. 76. № 1. pp. 88-97.
7. Gunn T. The use of virtual reality simulation to improve technical skill in the undergraduate medical imaging student // Interactive learning environments. 2018. Vol. 26. № 5. pp. 613-620.
8. Kyaw B.M. Virtual reality for health professions education: Systematic review and meta-analysis by the digital health education collaboration // Journal of medical Internet research. 2019. Vol. 21. № 1.
9. Lee S.H. Augmented reality intravenous injection simulator based 3D medical imaging for veterinary medicine // The veterinary journal. 2015. Vol. 196. № 2. pp. 197-202.
10. Lorenz M. Virtual and augmented reality in medical education: A comparative study // Annual International conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2019. pp. 1314-1318.
11. Sheik-Ali S., Edgcombe H., Paton C. Next-generation virtual and augmented reality in surgical education: A narrative review // Surgical technology international. 2019. Vol. 35. pp. 27-35.
12. Smith R. The effectiveness of virtual reality for dental pain control: A case study // Cyberpsychology, Behaviour, and Social Networking. 2003. Vol. 6. № 5. pp. 527-535.
13. Tang K.-S. et al. Augmented reality in medical education: A systematic review // The canadian medical education. 2020. Vol. 11. № 1. pp. e81-e96.
14. Vozenilek J. See one, do one, teach one: Advanced technology in medical education // Academic emergency medicine. 2004. Vol. 11. № 11. pp. 1149-1154.
15. Zweifach S.M., Triola M.M. Extended reality in medical education: Driving adoption through provider-centered design // Digital Biomarkers. 2019. Vol. 3. № 1. pp. 14-21.

Analysis of the effectiveness of the use of virtual and augmented reality in medical education

Irina P. Vvedenskaya

Candidate of Medical Sciences
Samara State Medical University
Samara, Russia
wasily10@mail.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 06.02.2024

Accepted 27.03.2024

Published 30.04.2024

UDC 614.253:004.946.4:378.147

DOI 10.25726/c1790-1580-9012-r

EDN LVHGKC

VAK 5.8.7. Methodology and technology of vocational education (pedagogical sciences)

OECD 05.03.HE EDUCATION, SPECIAL

Abstract

In the last decade, there has been a rapid development of virtual (VR) and augmented reality (AR) technologies, which are used in various fields, including medical education. The purpose of this study is to analyze the effectiveness of the use of BP and others in the training of future doctors. The paper provides a systematic review of the literature covering 85 scientific publications from 2010 to 2023 on the use of VR and others in medical education. The inclusion criteria were: (1) the use of VR and/or DR in teaching medical students; (2) the presence of a control group; (3) assessment of the effectiveness of training using objective methods. The results of the analysis showed that the use of VR and others contributes to improving the quality of medical education. In particular, in 78% of the studies (n=66), a statistically significant improvement in theoretical knowledge and practical skills was demonstrated in students who studied using BP and OTHERS, compared with the control group ($p < 0.05$). The average increase in knowledge was 27.3% (95% CI: 22.1-32.5%). In addition, 92% of the papers (n=78) showed an increase in student engagement and motivation when using immersive technologies. However, despite the promising results, there are currently a number of limitations preventing the widespread introduction of VR and others into medical education, including the high cost of equipment (from 500 to 5000 USD per workplace) and insufficient evidence base regarding long-term effects. In conclusion, it should be noted that BP and OTHERS have significant potential for improving medical education, but further research is needed to overcome existing barriers and optimize the use of these technologies in the educational process.

Keywords

virtual reality, augmented reality, medical education, learning effectiveness, systematic review.

References

1. Weindorf-Sysoeva M.E., Pchelyakova V.V. Prospects of using the digital footprint in educational and scientific processes // Bulletin of the Mininsky University. 2021. № 3. Vol. 9.
2. Klimovich R.R., Shkvarkova Yu.O., Chernova S.V. Introduction of virtual reality technology in education // Skif. Questions of student science. 2019. № 8(36). pp. 30-100.
3. Sosnilo A.I. Application of virtual reality (vr) technologies in management and education // Managerial consulting. 2021. No. 6(150). pp. 158-163.

4. Tolmacheva S.V., Tolmacheva L.A. The use of virtual reality technologies in teaching: a value aspect (based on the results of a sociological study) // *Izvestiya vuzov. Sociology. Economy. Politics*. 2021. № 3. pp. 123-138.
5. Barsom E.Z., Graafland M., Schijven M.P. Systematic review on the effectiveness of augmented reality applications in medical training // *Surgical endoscopy*. 2016. Vol. 30. № 10. pp. 4174-4183.
6. Bracq M.-S. Virtual reality training improves simulated laparoscopic surgery performance in laparoscopy naïve medical students // *Journal of surgical education*. 2019. Vol. 76. № 1. pp. 88-97.
7. Gunn T. The use of virtual reality simulation to improve technical skill in the undergraduate medical imaging student // *Interactive learning environments*. 2018. Vol. 26. № 5. pp. 613-620.
8. Kyaw B.M. Virtual reality for health professions education: Systematic review and meta-analysis by the digital health education collaboration // *Journal of medical Internet research*. 2019. Vol. 21. № 1.
9. Lee S.H. Augmented reality intravenous injection simulator based 3D medical imaging for veterinary medicine // *The veterinary journal*. 2015. Vol. 196. № 2. pp. 197-202.
10. Lorenz M. Virtual and augmented reality in medical education: A comparative study // *Annual International conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 2019. pp. 1314-1318.
11. Sheik-Ali S., Edgcombe H., Paton C. Next-generation virtual and augmented reality in surgical education: A narrative review // *Surgical technology international*. 2019. Vol. 35. pp. 27-35.
12. Smith R. The effectiveness of virtual reality for dental pain control: A case study // *Cyberpsychology, Behaviour, and Social Networking*. 2003. Vol. 6. № 5. pp. 527-535.
13. Tang K.-S. et al. Augmented reality in medical education: A systematic review // *The canadian medical education*. 2020. Vol. 11. № 1. pp. e81-e96.
14. Vozenilek J. See one, do one, teach one: Advanced technology in medical education // *Academic emergency medicine*. 2004. Vol. 11. № 11. pp. 1149-1154.
15. Zweifach S.M., Triola M.M. Extended reality in medical education: Driving adoption through provider-centered design // *Digital Biomarkers*. 2019. Vol. 3. № 1. pp. 14-21.