

РЕАЛЬНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БІОМЕДИЧНІЙ ОСВІТІ

О. П. Мінцер, С. І. Мохначов, П. П. Ганинець,
О. В. Сарканич, Є. В. Вембер

Національний університет охорони здоров'я імені П. Л. Шупика

Розглянуто питання розроблення, застосування та перспектив імерсивних технологій в охороні здоров'я та біомедичній освіті. Проаналізовано можливості застосування імерсивних технологій у біомедичній освіті, їх переваги та обмеження, а також перспективи подальшого розвитку. Імерсивні технології уже сьогодні є перспективним інструментом для біомедичної практики та освіти. Однак поточні дослідження для здобувачів медичної освіти занадто багато зосереджуються на питаннях, пов'язаних із хірургією та анатомією. Технологія занурення широко прийнята та використовується як у біомедичній практиці, так і в освіті для зменшення існуючих недоліків. Інтерактивна технологія може створити освітній процес, орієнтований на здобувачів (студентів), дозволяючи їм отримати інтерактивний і персоналізований практичний досвід, використовуючи можливість перекладу та портативність пристроїв VR/AR/MR/XR.

Відповідно до результатів метааналізів запровадження технології занурення в освітньому процесі може суттєво підвищити показники здатності здобувачів освіти, зокрема студентів і аспірантів, виконувати медичні процедури. З огляду на ці переваги, важливо розглянути можливість широкого впровадження технології занурення в біомедичну практику та освіту.

Ключові слова: віртуальна реальність, доповнена реальність, змішана реальність, розширена реальність, біомедична освіта.

REAL APPLICATION OF IMMERSIVE TECHNOLOGIES IN BIOMEDICAL EDUCATION

O. P. Mintser, S. I. Mokhnachov, P. P. Hanynets,
O. V. Sarkanych, Ye. V. Vember

Shupyk National Healthcare University of Ukraine

Background. Issues of development, application and prospects of immersive technologies in health care and biomedical education are considered. The purpose of the study was to analyze the possibility of using immersion technologies in biomedical education, analyze their advantages and limitations, as well as prospects for further development.

Materials and methods. Results. Immersive technologies are already a promising tool for biomedical practice and education today. However, current studies for medical students focus too much on questions related to surgery and anatomy. Immersion technology is widely accepted and used in both biomedical practice and education to reduce existing deficiencies.

Conclusions. Interactive technology can create a student-centered learning process, allowing them to have an interactive and personalized hands-on experience using the translation capability

and portability of VR/AR/MR/XR devices. According to the results of meta-analyses, the introduction of immersion technology in medical training can significantly increase the indicators of the ability of students and postgraduates to perform surgical procedures. Given these advantages, it is important to consider the possibility of widespread adoption of immersion technology in biomedical practice and education.

Keywords: virtual reality, augmented reality, mixed reality, extended reality, biomedical education.

Вступ. Сучасна біомедична освіта стоїть на порозі значних змін завдяки інтеграції інноваційних технологій. Останніми роками імерсивні технології, такі як віртуальна реальність (VR), доповнена реальність (AR) та змішана реальність (MR), зарекомендували себе як потужні інструменти, що здатні підвищити якість підготовки майбутніх спеціалістів. Але цікаво, що основні шість дослідницьких запитань, пов'язаних із тенденціями, сферами застосування, одержувачами, змістом освіти, методами оцінювання та продуктивністю, залишаються без відповіді [1].

Швидкі зміни в біомедичних і медичних знаннях вимагають інноваційних засобів навчання для медичної практики та освіти. Імерсивні технології, безумовно, являються одними з них. Американська кардіологічна асоціація (АНА) підкреслює потенціал імерсивних технологій у покращенні навчання реанімації та їх здатність збагачувати досвід навчання здобувачів освіти [5].

Ці технології забезпечують глибоке занурення суб'єктів навчання в освітній процес (Aggarwal R. et al., 2023), дозволяючи створювати більш реалістичні та інтерактивні навчальні середовища [2]. VR, наприклад, в основному використовується для відпрацювання медичних навиків, щоб показати тривимірну анатомію, симулювати хірургічне втручання та планування хірургічного втручання, а також допомогти в лікуванні фобій, тривожних розладів, посттравматичного стресового розладу, інвалідності та реабілітації [20].

Мета дослідження: проаналізувати можливості застосування імерсивних технологій у біомедичній

освіті, їх переваги та обмеження, а також перспективи подальшого розвитку.

Результати та їх обговорення. Поняття та класифікація імерсивних технологій. Імерсивні технології включають різні засоби, що забезпечують повне або часткове занурення користувача в штучне або гібридне середовище. Основна перевага даних технологій полягає у створенні середовища, що сприймається користувачем як природне, яке досягається за рахунок використання спеціалізованого обладнання, такого як шоломи віртуальної реальності, окуляри доповненої реальності та інтерактивні інтерфейси [6].

Існує кілька ключових категорій імерсивних технологій, кожна з яких знаходить своє застосування в біомедичній освіті:

1. Віртуальна реальність (VR) – повністю цифрове середовище, в якому користувачі можуть взаємодіяти з віртуальними об'єктами за сценарієм, створеним програмним забезпеченням. У біомедичній освіті VR використовується для моделювання різних клінічних ситуацій, проведення хірургічних операцій, навчання навикам діагностики та терапії [17].

2. Доповнена реальність (AR) – дозволяє накладати цифрові об'єкти на фізичну реальність, створюючи гібридний освітній простір. У медичному контексті AR активно використовується для візуалізації анатомічних структур на тілі пацієнта або симулятора, що покращує розуміння просторових відносин і взаємодій в організмі (Pottle A., Strawbridge J., 2020).

3. Змішана реальність (MR) – об'єднує елементи VR та AR, дозволяючи користувачеві одночасно взаємодіяти з віртуальними та реальними об'єктами. Ця технологія відкриває нові можливості для комплексної освіти, що особливо важливо для медичної практики, яка потребує інтеграції теоретичних знань та практичних навиків (Lu H. et al., 2021).

Сфери застосування імерсивних технологій в охороні здоров'я та практичній біомедицині. Важливою сферою використання імерсивних технологій є біомедична практика та освіта. Найбільше застосування імерсивні технології знайшли в біомедичній освіті. Однак, біомедична практика зазвичай включає багато практичних навиків, без яких подальше вдосконалення спеціаліста практично неможливе. На тепер існує відносно мало досліджень для пояснення, що відомо і що необхідно знати про використання технології занурення в цілому в біомедичній практиці та освіті, наприклад, тенденції, загальні сфери застосування, зміст освіти, методи оцінювання тощо. Швидкий розвиток імерсивних технологій у біомедичній практиці та освіті вимагає документування польового досвіду та виявлення нових дослідницьких тенденцій [1].

Для пацієнтів із хронічними захворюваннями VR може запропонувати віртуальні програми вправ і процедури реабілітації, що дозволяє пацієнтам брати участь у керованій фізіотерапії з дому. Це не тільки забезпечує послідовне лікування їхнього стану, але й зменшує фізичне та фінансове навантаження, пов'язане з частими відвідуваннями лікарні.

Відповідне використання систем відстеження та бачення таким чином, щоб завдяки сенсорним пристроям можливо було б торкатися та відчувати віртуальні об'єкти, підвищує рівень занурення системи VR, тобто створює відчуття присутності у віртуальному середовищі. Отже, рівень занурення є ключовою моделюючою змінною і впливає на

результат використання VR для завдань охорони здоров'я, зокрема діагностики та прогнозування перебігу патологічного процесу, особливо під час психологічного лікування [7].

Відчуття присутності дозволяє користувачам, які були занурені у віртуальне середовище, відчувати емоційні реакції та поведінку, як у реальному середовищі. Зауважимо, що відчуття присутності у віртуальному середовищі є складним психічним механізмом, що тісно пов'язаний із емоційними здібностями людей [15]. Інші фактори, зокрема особисті (наприклад, концентрація, емоційний стан тощо) та фактори навколишнього середовища можуть впливати на почуття. Користувачі (пацієнти) з депресією або поганою мотивацією до лікування можуть мати труднощі з цього приводу.

Важливо підкреслити, що моделювання середовищ для сектору охорони здоров'я потребує не тільки високоякісних об'єктів і моделювання їх поведінки в реальному світі, але й вимагає інтеграції різних галузей науки, зокрема фізики та математики. Крім того, користувач не може мати справжнього відчуття реальності, коли об'єкти не реагують належним чином, тому розуміння когнітивної моделі для вирішення цієї проблеми має важливе значення. Іншими словами, ефективне використання імерсивних технологій являє собою типову трансдисциплінарну проблему. В найпростіших випадках можливо обмеження міждисциплінарними стосунками. Міждисциплінарне посилення покращує співпрацю між спеціалістами в різних галузях, і це призводить до створення відповідних програм для кінцевих користувачів та їхнього задоволення, а також до врахування етичних і якісних критеріїв. Створення віртуальних світів і персонажів вимагає спеціальних навиків у 3D-моделюванні, текстурованні, анімації персонажів і програмуванні [10].

З іншого боку, встановлення та використання складного програмного забезпечення віртуальної

реальності може бути важким, особливо для людей із серйозними фізичними та розумовими вадами або для людей похилого віку [16].

Переваги імерсивних технологій у біомедичній освіті. Імерсивне навчання на основі технологій надає працівникам охорони здоров'я насичений, інтерактивний і безпечний досвід навчання, наголошуючи на передаванні навиків у клінічні умови [4]. Він підтримує процес навчання на практиці, усуває розрив між теорією та практикою, покращує набуття та передавання навиків. Наразі вчені часто застосовують технологію віртуальної і доповненої реальності та магнітної зйомки в біомедичному навчанні та освіті як навчальні посібники [8, 18] для підтримки, доповнення або навіть заміни традиційних методів навчання. Наприклад, технології застосовуються для анатомічного навчання студентів–медиків [1, 5]. Використання імерсивних технологій у біомедичній освіті розглянуто в десятках досліджень і дозволяє зробити певні висновки. Перш за все, узагальнений вплив імітаційних тренувальних утручань на якість засвоєння навчального матеріалу. Важливим завданням є знаходження інноваційних методів, що допоможуть студентам розвивати та запам'ятовувати фундаментальні навички, забезпечуючи безпеку пацієнтів. Дослідження показують, як гарнітура віртуальної реальності (VR) і спеціальна тактильна технологія в поєднанні з принципами навчання, заснованого на іграх, можуть забезпечити інноваційний підхід до сприяння. В рамках пілотного дослідження [4] зі змішаними методами вивчали зручність використання та реакцію користувачів на ігрову систему віртуальної реальності, розроблену для практики катетеризації сечі. Час виконання завдання та кількість процедур, виконаних за одну годину, порівнювали з суб'єктами, які практикували традиційно, використовуючи тренера завдань під наглядом викладача. Технології VR, AR та MR застосовуються для покращення практичного та процедурного навчання [13, 14, 19].

Важливу роль займають імерсивні технології у навчанні телемедицини. Оскільки телемедицина в основному зосереджена на передаванні медичної інформації, VR має потенціал для покращення цієї функції [11]. Зокрема, VR можна використовувати в телемедицині як розширений комунікаційний інтерфейс, що забезпечує більш інтуїтивний режим взаємодії з інформацією, і як гнучке середовище, що посилює відчуття фізичної присутності під час взаємодії. Сучасні додатки телемедицини на основі VR використовуються в дистанційній або розширеній хірургії, а також у хірургічному навчанні, що критично залежить від координації очей і рук. Взагалі, інтеграція віртуальної реальності з телемедициною вважається революційною подією у сфері цифрової охорони здоров'я. Це злиття не тільки розширює можливості телемедицини, але й дозволяє переосмислити досвід пацієнта та постачальників медичних послуг. Технологія VR може створити більш захоплюючий та інтерактивний досвід консультацій. За допомогою віртуальної реальності пацієнтів можна віртуально транспортувати до кабінету лікаря, сприяючи більш захоплюючій та особистій взаємодії порівняно з традиційними відеодзвінками. Більш того, за допомогою віртуальної реальності постачальники медичних послуг можуть симулювати 3D–моделі анатомії пацієнтів, що дозволяє їм точніше оцінювати та діагностувати захворювання.

Особливо важливим вважається реалізація навчання телемедициною технологіям за допомогою VR, що допомагає вийти за межі догляду за пацієнтами до сфери медичної освіти. Для працівників охорони здоров'я створюються динамічні платформи з метою практики процедур і операцій у безпечному віртуальному середовищі. Цей аспект є неоцінним, особливо при підготовці постачальників медичних послуг до роботи зі складними медичними сценаріями або рідкісними захворюваннями, з якими вони часто не стикаються.

Отже, інтеграція технології віртуальної реальності в телемедицину значно підвищить ефективність, доступність і обсяг дистанційних медичних послуг. Забезпечуючи інтерактивний і персоналізований досвід охорони здоров'я, VR має потенціал змінити догляд за пацієнтами, медичну освіту та лікування хронічних захворювань, формуючі силуети майбутнього надання медичних послуг. Зауважимо, що останнім часом дослідники намагаються використовувати віртуальні середовища в медичній візуалізації для оцінювання та реабілітації у нейропсихології.

Рандомізовані контрольовані дослідження демонструють, що захоплююче навчання на основі технологій може покращити засвоєння студентами знань [6]. Вважається, що технологія занурення надасть студентам новий спосіб навчання, допоможе отримати основні знання та практичні навички в галузі охорони здоров'я. Наразі широко вивчається й досвід використання технологій занурення в практичній охороні здоров'я, особливо в хірургічному напрямку. Отже, можна виділити кілька основних переваг.

Підвищення рівня практичних навиків в умовах, наближених до реальної клінічної практики. Однією з ключових переваг використання імерсійних технологій у медичній освіті є можливість створення навчальних сценаріїв, максимально наближених до реальної клінічної практики. Віртуальні симуляції дозволяють студентам багаторазово відпрацьовувати складні медичні процедури, не наражаючи на ризик реальних пацієнтів. Сучасні дослідження підтверджують, що студенти, які проходять VR-тренінг, демонструють вищі результати при виконанні реальних хірургічних процедур порівняно з традиційними методами навчання [17].

Поліпшення візуалізації та розуміння анатомічних і фізіологічних процесів. Імерсивні технології значно розширюють можливості візуалізації складних медичних концепцій, таких

як анатомічні структури, фізіологічні процеси та патологічні зміни. Наприклад, AR дозволяє проектувати тривимірні моделі органів і систем на тіло пацієнта, що сприяє глибшому розумінню їх просторових взаємозв'язків [6]. Сучасні дослідження показують, що AR та VR-технології сприяють покращенню розуміння анатомії та фізіології, що особливо важливо при вивченні цих дисциплін.

Індивідуалізація освітнього процесу. Імерсійні технології відкривають нові обрії для індивідуалізації освітнього процесу. Вони дозволяють створювати адаптивні навчальні програми, що враховують рівень підготовки та індивідуальні потреби кожного студента. Наприклад, VR-симуляції можуть включати різні рівні складності, які можна обирати в залежності від прогресу студента, що дозволяє студентам освоювати навчальний матеріал у своєму власному темпі [2].

Підвищення мотивації до навчання. Імерсійні технології роблять освітній процес більш цікавим та інтерактивним. Віртуальні симуляції та ігрові елементи, включені до освітнього процесу, сприяють підвищенню мотивації студентів і підтримують їхній інтерес до навчання на високому рівні. Останні дослідження показують, що використання імерсійних технологій значно підвищує мотивацію студентів до навчання, що сприяє покращенню навчання.

Проблеми використання імерсивних технологій у біомедичній освіті. Незважаючи на абсолютно позитивне значення імерсивних технологій у охороні здоров'я та біомедичній освіті, існують певні проблеми з використанням імерсивних технологій у секторі біомедичної освіти. По-перше, захоплююча медична практика та освіта на основі технологій потребують значної фінансової та технологічної допомоги, а також постійного навчання викладачів та інструкторів. Насправді державна підтримка та політика зазвичай

відіграють вирішальну роль в успіху медичної практики та навчання, особливо у впровадженні інноваційних технологій у галузі. По-друге, пристрої VR/AR/MR/XR можуть викликати так звану «симуляційну хворобу», ускладнюючи студентам концентрацію на своїх навчальних завданнях. Перед виробниками пристроїв VR/AR/MR/XR стоїть питання про вдосконалення своїх конструкцій для мінімізації негативних наслідків використання VR/AR/MR/XR. Відчуття простоти використання є життєво важливим для прийняття технології [12]. Попередні дослідження стверджували, що впровадження VR є дорогим. Це одна з перешкод, які необхідно подолати перед широким застосуванням VR.

Створення та розроблення програм віртуальної реальності вимагає високоякісного апаратного забезпечення, високошвидкісних комп'ютерів, ефективних відеокарт, точних систем відстеження, дисплеїв із високою роздільною здатністю та вузькоспеціалізованих аксесуарів. Початкові інструменти віртуальної реальності мають проблеми, включаючи їх великий розмір і фрагментарність, складність використання, високу вартість проєктування та впровадження, що значно сповільнюють процес використання цих інструментів. VR вимагає більших навиків програмування, ніж традиційні двовимірні інструменти. Зміст дизайну VR залежить від залучення та співпраці різних професій у різних сферах, що може зробити його надто дорогим.

Основні проблеми розроблення та використання віртуальної реальності з освітніми та терапевтичними цілями класифікуються як загальні та специфічні.

Загальні виклики включають зменшення особистого спілкування, освіти, проблеми з витратами, ставлення користувачів, а також конкретні проблеми, такі як проєктування, міркування про безпеку, побічні ефекти VR, оцінювання та перевірка додатків VR. Завдання, пов'язані з VR, матимуть різні наслідки, тому визначення кожного з них допомагає визначити рішення для кожного завдання. Також пропонується розробити та оновити законодавчу базу, стандарти та протоколи, що відіграють важливу роль у підвищенні ефективного застосування VR на національному рівні.

Висновки. 1. Імерсивні технології уже сьогодні є перспективним інструментом для біомедичної практики та освіти. Однак поточні дослідження для лікарів, студентів–медиків та лікарів–інтернів занадто багато зосереджуються на питаннях, пов'язаних із хірургією та анатомією.

2. Технологія занурення широко прийнята та використовується як у біомедичній практиці, так і в освіті для зменшення існуючих недоліків. Інтерактивна технологія може створити освітній процес, орієнтований на здобувача освіти, дозволяючи йому отримати інтерактивний і персоналізований практичний досвід, використовуючи можливість перекладу та портативність пристроїв VR/AR/MR/XR.

3. Відповідно до результатів метааналізів запровадження технології занурення в біомедичну підготовку може суттєво підвищити показники здатності студентів і аспірантів виконувати хірургічні процедури. З огляду на ці переваги, важливо розглянути можливість широкого впровадження технології занурення в біомедичну практику та освіти.

Література.

1. A systematic review of immersive technology applications for medical practice and education – Trends, application areas, recipients, teaching contents, evaluation methods, and performance / Y. M. Tang, K. Y. Chau, A. P. K. Kwok et al. // Educational Research Review. – 2022. – Vol. 35. – P. 100429.
2. Evaluation of a simulation tool in ophthalmology: application in teaching funduscopy / Androwiki, J. E., Scravoni, I. A., Ricci, L. H. et al. // Arq Bras Oftalmol. – 2015. – № 78 (1). – P. 36-9.
3. Preliminary assessment of faculty and student perception of a haptic virtual reality simulator for training dental manual dexterity / G. Ben Gal, E. I. Weiss, N. Gafni, A. Ziv // Journal of Dental Education. – 2011. – № 75 (4). – P. 496–504.
4. Using Game-Based Virtual Reality with Haptics for Skill Acquisition / Butt A., Kardong-Edgren S., Ellertson A. // Clinical Simulation in Nursing. – 2018. – № 16. – P. 25–32.
5. Resuscitation education science: Educational strategies to improve outcomes from cardiac arrest: A scientific statement from the American Heart association / A. Cheng, V. M. Nadkarni, M. B. Mancini et al. // Circulation. – 2018. – № 138 (6). – P. e82–e122.
6. Augmented Reality in Medical Education: A Systematic Review and Meta-Analysis / Zhao J., Xu X., Jiang H., Zheng Z. // Medical Education. – 2022. – № 56 (4). – P. 432–441.
7. 10 scientific problems in virtual reality / Zhao Q. // Commun ACM. – 2011. – № 54 (2). – P. 116–118.
8. Can virtual reality really be used within the lecture theatre? / A. G. Davies, N. J. Crohn, L. A. Treadgold // BMJ simulation and technology enhanced learning. – 2019. – № 5 (4). – P. 234–235.
9. Virtual reality rehabilitation in children with brain injury: A randomized controlled trial / Choi J. Y., Yi S-H., Ao L. et al. // Developmental Medicine and Child Neurology. – 2021. – № 63 (4). – P. 480–487.
10. Validation of two instruments to assess technical bronchoscopic skill using virtual reality simulation / Davoudi M., Osann K., Colt H. G. // Respiration. – 2008. – № 76 (1). – P. 92–101.
11. Virtual reality in telemedicine / Riva G., Gamberini L. // Telemed J E Health. – 2000. – № 6 (3). – P. 327–340.
12. Technology acceptance model in M-learning context: A systematic review / M. Al-Emran, V. Mezhyuev, A. Kamaludin // Computers & Education. – 2018. – № 125. – P. 389–412.
13. Advances in virtual and augmented reality—exploring the role in health-care education / C. J. McCarthy, R. N. Uppot // Journal of Radiology Nursing. – 2019. – № 38 (2). – P. 104–105.
14. Augmented reality in emergency medicine: A scoping review / B. W. Munzer, M. M. Khan, B. Shipman, P. Mahajan // Journal of Medical Internet Research. – 2019. – № 21 (4). – e12368.
15. Sense of presence in virtual reality exposures therapy / Herbelin B., Vexo F., Thalmann D. // Proceedings of the 1st International Workshop on Virtual Reality Rehabilitation. 2002, Lausanne, Switzerland: Citeseer.
16. The virtual reality challenges in the health care area: a panoramic view / Nunes F. L., Costa R. M. In: Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing; 2008; New York: ACM; 2008. – P. 1312–1316.
17. Virtual Reality Training for Surgical Trainees / Gurusamy K. S., Cumpston M., Nagendran M., Wilson A. // Cochrane Database of Systematic Reviews. – 2021. – № 11. – CD006575.
18. Virtual interactive presence in global surgical education: International collaboration through augmented reality / Davis M. C., Can D. D., Pindrik J., Rocque B. G. et al. // World Neurosurgery. – 2016. – № 86. – P. 103–111.

19. Virtual simulation in enhancing procedural training for fluoroscopy-guided lumbar puncture: A pilot study / Ali S., Qandeel M., Ramakrishna R., Yang C. W. // *Academic Radiology*. – 2018. – № 25 (2). – P. 235–239.

References.

1. Tang, Y. M., Chau, K. Y., Kwok, A. P. K. et al. (2022). A systematic review of immersive technology applications for medical practice and education – Trends, application areas, recipients, teaching contents, evaluation methods, and performance. *Educational Research Review*, 35, 100429. DOI: 10.1016/j.edurev.2021.100429.

2. Androwiki, J. E., Scravoni, I. A., Ricci, L. H. et al. (2015). Evaluation of a simulation tool in ophthalmology: application in teaching funduscopy. *Arq Bras Oftalmol.*, 78 (1), 36–39. DOI: 10.5935/0004-2749.20150010.

3. Ben, G., Weiss, E. I., Gafni, N., Ziv, A. (2011). Preliminary assessment of faculty and student perception of a haptic virtual reality simulator for training dental manual dexterity. *Journal of Dental Education*, 75 (4), 496–504. DOI: 10.1002/j.0022-0337.2011.75.4.tb05073.x.

4. Butt, A., Kardong-Edgren, S., Ellertson, A. (2018). Using Game-Based Virtual Reality with Haptics for Skill Acquisition. *Clinical Simulation in Nursing*, 16, 25–32. DOI: 10.1016/j.ecns.2017.09.010.

5. Cheng, A., Nadkarni, V. M., Mancini, M. B. et al. (2018). Resuscitation education science: Educational strategies to improve outcomes from cardiac arrest: A scientific statement from the American Heart association. *Circulation*, 138 (6), e82–e122. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000583.

6. Zhao, J., Xu, X., Jiang, H., Zheng, Z. (2022). Augmented Reality in Medical Education: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medical Education*, 56 (4), 432–441.

20. Virtual reality training for health-care professionals / Mantovani F., Castelnovo G., Gaggioli A., Riva G. // *Cyberpsychol Behav.* – 2003. – № 6 (4). – P. 389–395.

7. Zhao, Q. (2011). 10 scientific problems in virtual reality. *Commun ACM*, 54 (2), 116–118. DOI: 10.1145/1897816.1897847.

8. Davies, A. G., Crohn, N. J., Treadgold, L. A. (2019). Can virtual reality really be used within the lecture theatre? *BMJ simulation and technology enhanced learning*, 5 (4), 234–235.

9. Choi, J. Y., Yi, S.-H., Ao, L. et al. (2021). Virtual reality rehabilitation in children with brain injury: A randomized controlled trial. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 63 (4), 480–487. DOI: 10.1111/dmcn.14762.

10. Davoudi, M., Osann, K., Colt, H. G. (2008). Validation of two instruments to assess technical bronchoscopic skill using virtual reality simulation. *Respiration*, 76 (1), 92–101.

11. Riva, G., Gamberini, L. (2000). Virtual reality in telemedicine. *Telemed J E Health*, 6 (3), 327–340.

12. Al-Emran, M., Mezhuyev, V., Kamaludin, A. (2018). Technology acceptance model in M-learning context: A systematic review. *Computers & Education*, 125, 389–412. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.06.008.

13. McCarthy, C. J., Uppot, R. N. (2019). Advances in virtual and augmented reality—exploring the role in health-care education. *Journal of Radiology Nursing*, 38 (2), 104–105. DOI: 10.1016/j.jradnu.2019.01.008.

14. Munzer, B. W., Khan, M. M., Shipman, B., Mahajan, P. (2019). Augmented reality in emergency medicine: A scoping review. *Journal of Medical Internet Research*, 21 (4), e12368. DOI: 10.2196/12368.

15. Herbelin, B., Vexo, F., Thalmann, D. (2002). Sense of presence in virtual reality exposures therapy. Proceedings of the 1st International Workshop on Virtual Reality Rehabilitation, Lausanne, Switzerland: Citeseer.
16. Nunes, F. L., Costa, R. M. (2008). The virtual reality challenges in the health care area: a panoramic view. In: Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing; New York: ACM, 1312–1316.
17. Gurusamy, K. S., Cumpston, M., Nagendran, M., Wilson, A. (2021). Virtual Reality Training for Surgical Trainees. Cochrane Database of Systematic Reviews, 11, CD006575.
18. Davis, M. C., Can, D. D., Pindrik, J., Rocque, B. G. et al. (2016). Virtual interactive presence in global surgical education: International collaboration through augmented reality. World Neurosurgery, 86, 103–111.
19. Ali, S., Qandeel, M., Ramakrishna, R., Yang, C. W. (2018). Virtual simulation in enhancing procedural training for fluoroscopy-guided lumbar puncture: A pilot study. Academic Radiology, 25 (2), 235–239.
20. Mantovani, F., Castelnuovo, G., Gaggioli, A., Riva, G. (2003). Virtual reality training for health-care professionals. Cyberpsychol Behav., 6 (4), 389–395.

ORCID:

Ozar P. Mintser: 0000–0002–7224–4886
Stanislav I. Mokhnachov: 0000–0002–3480–9188
Pavlo P. Hanynets: 0009–0003–2408–7614
Oleksandr V. Sarkanych: 0000–0002–0382–2486
Yevgen V. Vember: 0009–0002–3796–640X