

**ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДИК
ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У ФІЗИЧНІЙ ТЕРАПІЇ ПАЦІЄНТІВ
ІЗ ТРАВМАМИ ОПОРНО-РУХОВОГО АПАРАТУ**

**THE USE OF INNOVATIVE VIRTUAL REALITY TECHNIQUES IN THE PHYSICAL
THERAPY OF PATIENTS WITH MUSCULOSKELETAL INJURIES**

Шепель А. І., Горошко В. І.¹

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,
м. Полтава, Україна*

Shepel A. I., Horoshko V. I.¹

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic",
Poltava, Ukraine*

¹<https://orcid.org/0000-0002-5244-5648>

DOI <https://doi.org/10.32782/2522-1795.2023.17.18>

Анотації

Було встановлено, що порівняно з простим традиційним доглядом та іншими видами лікування хронічних захворювань опорно-рухового апарату лікування за допомогою віртуальної реальності забезпечує значне полегшення болю, поліпшення функціональних можливостей, зменшення симптомів і збільшення кута нахилу суглобів. Однак лікування віртуальною реальністю (ВР) пацієнтів із нехронічними болями, такими як повна заміна колінного суглоба та розтягнення зв'язок гомілкового суглобу, а також пацієнтів, які пройшли дуже короткий курс віртуальної реальності, не показало суттєвої різниці в параметрах, порівнюючи з простим традиційним доглядом або іншими формами лікування. У статті проведено ретельний аналіз та висвітлення потенціалу використання інноваційних методик віртуальної реальності у фізичній терапії пацієнтів, які страждають від травм опорно-рухового апарату. Метою статті є дослідження можливостей, ефективності та переваг імплементації ВР у процес реабілітації цільової аудиторії. Здійснено систематичний аналіз сучасних наукових джерел, включаючи наукові статті, дослідження та експертні думки, пов'язані із застосуванням інноваційних методик віртуальної реальності у фізичній терапії. Надано оцінку впливу ВР на пацієнтів із захворюваннями опорно-рухового апарату шляхом аналізу рандомізованих контрольованих досліджень (РКД). Бази даних – PubMed, IEEEiMEDLINE. Після проведення систематичного аналізу наукових джерел та оцінки ефективності методик ВР у фізичній терапії пацієнтів з травмами опорно-рухового апарату отримано вагомий результат, який свідчить про потужний потенціал ВР у реабілітаційній практиці. Зазначена революційна зміна у способах лікування виявилася вже не лише технологічною новацією, але й значущим кроком у покращенні ефективності та якості реабілітаційного процесу. Відзначено, що ефективність методик ВР підтверджується наявними даними й дослідженнями, які підтримують відмінні результати відновлення функцій пацієнтів. Визначено, що особливо прогресивними є підходи, які комбінують ігрові елементи з традиційними фізіотерапевтичними вправами. Інноваційні методики дозволяють створити індивідуалізовані та мотивуючі програми, що сприяють поліпшенню моторних навичок, рухового контролю та загального фізичного стану пацієнтів. Віртуальна реальність створює занурене та захоплююче середовище, що допомагає забути про біль і стрес, а також забезпечує більш позитивний підхід до реабілітації.

Ключові слова: віртуальна реальність, захворювання опорно-рухового апарату, фізична реабілітація.

Compared to simple conventional care and other treatments, virtual reality has been found to provide significant pain relief, improved functionality, reduced symptoms, and increased joint range of motion in the treatment of chronic musculoskeletal conditions. However, virtual reality treatment of patients with non-chronic pain, such as total knee replacement and ankle sprains, as well as patients who have under-

gone a very short course of virtual reality, has not shown a significant difference in parameters compared to simple traditional care or other forms of treatment. **Objective.** To thoroughly analyze and highlight the potential of using innovative virtual reality techniques in physical therapy for patients suffering from musculoskeletal injuries. The specific goal is to study the possibilities, effectiveness and benefits of implementing VR in the rehabilitation process of the target audience. **Material and methods.** A systematic analysis of modern scientific sources, including scientific articles, books, studies and expert opinions related to the use of innovative virtual reality techniques in physical therapy, was carried out. We assessed the impact of VR on patients with musculoskeletal diseases by analyzing randomized controlled trials (RCTs). The databases used were PubMed, IEEE and MEDLINE. **Research results.** After conducting a systematic analysis of scientific sources and evaluating the effectiveness of VR techniques in the physical therapy of patients with musculoskeletal injuries, we obtained significant results that demonstrate the powerful potential of VR in rehabilitation practice. This revolutionary change in treatment methods has proven to be not only a technological innovation, but also a significant step in improving the efficiency and quality of the rehabilitation process. It is noted that the effectiveness of VR techniques is confirmed by the available data and research which support excellent results of restoration of patients' functions. It has been determined that approaches that combine game elements with traditional physiotherapy exercises are particularly progressive. **Conclusions.** Innovative techniques allow creating individualized and motivating programs that help improve motor skills, motor control, and the general physical condition of patients. Virtual reality creates an immersive and engaging environment that helps to forget about pain and stress, and provides a more positive approach to rehabilitation.

Key words: virtual reality, musculoskeletal diseases, physical rehabilitation.

Вступ. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), захворювання опорно-рухового апарату є одними з найпоширеніших проблем зі здоров'ям, від яких страждає приблизно 1,71 мільярда людей у всьому світі [10]. Захворювання суглобів, зв'язок, м'язів, нервів і сухожиль, а також інших опорних структур організму є основною причиною призначення реабілітаційних заходів. На них припадає близько двох третин реабілітації дорослих, і вони є однією з найпоширеніших причин реабілітації дітей [10]. Реабілітація настільки важлива в лікуванні захворювань опорно-рухового апарату (ОРА) тому, що вона охоплює цілий ряд важливих цілей, включаючи відновлення, підтримку і поліпшення фізичної функції і мобільності, а також полегшення болю й поліпшення якості життя. У сучасному медичному дискурсі інновації та передові технології займають центральне місце в розвитку ефективних і зручних підходів до лікування та реабілітації пацієнтів. Серед цих передових підходів використання віртуальної реальності (далі – ВР) виявляється як одна з найбільш перспективних та впливових інновацій у сфері медичної реабілітації.

У клінічному дослідженні досвіду і сприйняття ВР канадські фізіотерапевти та ерго-терапевти виявили, що лікування у ВР найчастіше застосовують у разі інсульту (25,8%),

черепно-мозкової травми (15,3%), захворювань опорно-рухового апарату (14,9%), дитячого церебрального паралічу (10,5%) та розладів нейророзвитку (6,3%) [9]. Більшість клінічних застосувань ВР пов'язані з неврологічними проблемами. Крім того, згідно з науковими дослідженнями, ВР застосовувалася для лікування пацієнтів не тільки з інсультом, але й хворобою Паркінсона тощо [5; 6]. Однак більшість досліджень у сфері медичного застосування ВР стосується реабілітації рухів верхніх кінцівок у постінсультних пацієнтів. Для групи пацієнтів, які перенесли інсульт, була розроблена система реабілітації верхніх кінцівок на основі ВР. Пацієнти хапали і відпускали характерні об'єкти у віртуальному середовищі, а контроль рухів пальців покращився через 4–6 тижнів після втручання у ВР. Деякі вчені навчають дітей із церебральним паралічем (ДЦП) за допомогою Kinect і спеціальних ігор. Дані свідчать про те, що використання ВР є перспективним інструментом для включення в процес реабілітації в разі ДЦП [5].

Метою наукової статті є ретельний аналіз та висвітлення потенціалу використання інноваційних методик ВР у фізичній терапії пацієнтів, які страждають від травм опорно-рухового апарату. Конкретною метою є дослідження можливостей, ефективності та пере-

ваг імплементації ВР у процес реабілітації цільової аудиторії.

Для досягнення мети статті покладено такі завдання:

1. Систематичний аналіз наукових джерел: провести обстеження сучасних наукових джерел, що стосуються застосування ВР у фізичній терапії пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Визначити ключові тенденції, результати досліджень та обґрунтувати актуальність використання ВР у даній області.

2. Оцінювання ефективності методик ВР: проаналізувати вже наявні дані та результати досліджень, що стосуються використання ВР у реабілітації пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Визначити, які конкретні методи та підходи до ВР є найбільш ефективними і прогресивними.

3. Розкриття переваг ВР у реабілітації: проаналізувати потенціальні переваги використання ВР у фізичній терапії, такі як індивідуалізація програм, покращення мотивації пацієнтів, збільшення ефективності та швидкості відновлення функцій опорно-рухового апарату.

4. Дослідження можливостей інтеграції: вивчити можливості інтеграції ВР з іншими сучасними підходами та методами фізичної терапії. Визначити оптимальні способи поєднання і взаємодії для досягнення найкращих результатів.

5. Розроблення рекомендацій: на основі отриманих даних та аналізу розробити практичні рекомендації для фахівців з фізичної терапії щодо ефективного використання ВР у реабілітації пацієнтів з травмами опорно-рухового апарату.

6. Висновки та перспективи: сформулювати висновки на основі проведеного дослідження, висвітлити перспективи подальшого розвитку та впровадження інноваційних методик ВР у фізичну терапію.

Матеріал і методи. Для досягнення поставлених завдань та відповідної мети статті було використано результативні методи дослідження. Здійснено систематичний аналіз сучасних наукових джерел, вклю-

чаючи наукові статті, книги, дослідження та експертні думки, пов'язані із застосуванням інноваційних методик ВР у фізичній терапії. Надано оцінку впливу ВР на пацієнтів із захворюваннями опорно-рухового апарату шляхом аналізу рандомізованих контрольованих досліджень (РКД). Бази даних – PubMed, IEEEiMEDLINE. Цей метод дозволив зібрати відомості про стан сучасних досліджень та практики в даній області. Виконано систематичний огляд наукової літератури з метою зібрати та обробити доступні дані про використання інноваційних методик віртуальної реальності в реабілітації пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Також цей метод дозволив зіставити й узагальнити результати попередніх досліджень. Проведено аналіз результатів досліджень, пов'язаних із використанням ВР у фізичній терапії пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату, що дозволило визначити ефективність та переваги використання ВР у реабілітаційному процесі. Здійснено компаративний порівняльний аналіз різних методик віртуальної реальності, які застосовуються у фізичній терапії пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Цей метод дозволив визначити найбільш прогресивні та ефективні підходи. Проведено анкетування пацієнтів, які зазнали травм опорно-рухового апарату й брали участь у реабілітаційних програмах з використанням ВР. Також здійснено спостереження за ходом їх реабілітаційного процесу з використанням інноваційних методик ВР. Ці методи дозволили зібрати відгуки та враження пацієнтів і визначити їхнє ставлення до застосування ВР. Проведено детальний аналіз клінічних випадків пацієнтів з різними травмами опорно-рухового апарату, що пройшли реабілітацію з використанням інноваційних методик ВР. Застосування цих методів дослідження дозволило отримати комплексний погляд на використання інноваційних методик віртуальної реальності у фізичній терапії пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату та виявити їх ефективність і перспективи в реабілітаційному процесі.

Результати дослідження. Першим кроком у проведенні нашого дослідження був систематичний аналіз наукових джерел, спрямований на обстеження сучасних досліджень, пов'язаних із застосуванням інноваційних методик віртуальної реальності у фізичній терапії пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Цей етап дослідження дозволив нам зібрати значний обсяг актуальних наукових джерел з різних дисциплін, які розглядають використання VR у реабілітації травм опорно-рухового апарату. Для здійснення систематичного аналізу ми використали методологію, засновану на принципах PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), що гарантує об'єктивність, повноту та достовірність зібраних даних. Під час аналізу ми визначили ключові тенденції в наукових працях, які досліджують вплив VR на процес реабілітації пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Особливу увагу ми приділили результатам клінічних випробувань, відгукам від пацієнтів та фахівців, а також рекомендаціям для подальших досліджень. У результаті аналізу було виявлено, що застосування інноваційних методик VR у фізичній терапії пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату має значний потенціал для покращення результатів реабілітації. Зокрема, було виявлено позитивні зміни в моторних навичках і координації та зниження болісних відчуттів після застосування VR у комплексному підході до фізичної терапії. Отримані результати вказують на актуальність і перспективність використання VR у реабілітаційному процесі пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Дані відгуки та висновки будуть підтримувати подальший науковий аналіз та обґрунтування ефективності VR у фізичній терапії та сприяти розвитку більш точних інноваційних підходів у цій сфері [7; 11].

Другий етап нашого дослідження був спрямований на об'єктивне оцінювання ефективності методик віртуальної реальності в реабілітації пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Для досягнення цієї мети ми провели детальний аналіз наявних даних і результа-

тів досліджень, пов'язаних із застосуванням VR у реабілітаційному процесі. Методологія дослідження базується на системному підході та принципах PRISMA, що гарантує високу об'єктивність та достовірність отриманих результатів. Ми перевірили наукові джерела на відповідність критеріям включення та виключення, що дозволило зібрати найбільш обґрунтовані та надійні дані. У процесі аналізу ми визначили конкретні методи й підходи до VR, які проявили найбільшу ефективність та прогресивність у реабілітації пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Зокрема, виявлено, що використання інтерактивних ігрових платформ дозволяє досягти збалансованого сполучення розваги і фізичних навантажень, що позитивно впливає на мотивацію пацієнтів та ефективність відновлення. Крім того, аналіз показав, що індивідуально налаштовані програми VR, з урахуванням особливостей пацієнта та характеру його травми, мають великий потенціал для досягнення оптимальних результатів. Це дозволяє знайти більш точне співвідношення між навантаженнями та можливостями пацієнта, що сприяє ефективному відновленню функцій опорно-рухового апарату [7; 11]. Отже, результати аналізу вказують на значний потенціал і перспективи використання VR у реабілітації пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Вибрані підходи та методи демонструють високу ефективність і відкривають нові можливості для подальшого вдосконалення терапевтичних підходів у даній області.

Третій етап нашого дослідження був спрямований на розкриття потенціальних переваг використання віртуальної реальності у фізіотерапії пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Під час цього етапу ми детально проаналізували фактори, які впливають на ефективність та успішність відновлення за допомогою VR. Один із ключових аспектів – це індивідуалізація програм реабілітації за допомогою VR. Використання цієї технології дозволяє створити унікальні плани терапії, враховуючи особливості конкретного пацієнта, ступінь травми та його фізичні можливості. Це дозволяє точніше дозувати наванта-

ження і забезпечити максимально ефективне відновлення опорно-рухового апарату. Ще однією важливою перевагою є покращення мотивації пацієнтів. Використання віртуальної реальності в реабілітації додає новий аспект розваги та взаємодії. Ігрові елементи, віртуальні завдання та виклики залучають пацієнтів до активної участі в процесі відновлення. Це не тільки сприяє більшій самодисципліні, але й підвищує задоволеність та інтерес пацієнтів до реабілітаційної програми. Застосування VR також дозволяє збільшити ефективність та швидкість відновлення функцій опорно-рухового апарату [6]. Інтерактивність та адаптивність віртуальних програм дозволяє швидше реагувати на зміни у фізичних можливостях пацієнтів і динамічно регулювати рівень навантаження. Це може призвести до більш швидкого та ефективного відновлення рухових функцій. Отже, аналіз потенціальних переваг використання VR у реабілітації пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату підтверджує, що ця технологія має значний потенціал для досягнення оптимальних результатів у фізіотерапії. Індивідуалізація програм, покращення мотивації та збільшення ефективності відновлення є ключовими аспектами, які здатні забезпечити успішну реабілітацію пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату за допомогою віртуальної реальності [12].

Четвертий етап наукової роботи досліджував можливості інтеграції віртуальної реальності з іншими сучасними підходами та методами фізичної терапії. На цьому етапі ми докладно вивчили способи взаємодії VR з іншими засобами та підходами, що використовуються для відновлення пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Однією з можливостей інтеграції є поєднання VR з фізіотерапією. Використання віртуальної реальності під час фізіотерапевтичних занять може додати елемент цікавості та ефективності до стандартних реабілітаційних вправ. При цьому VR може слугувати як додатковий стимул для виконання вправ, а також допомагати відстежувати та оцінювати рухові показники пацієнтів [5]. Інший аспект інтеграції

полягає в поєднанні VR з біомедичними датчиками й моніторами. Використання додаткових засобів для вимірювання фізіологічних параметрів під час сеансів з VR може дозволити враховувати більше деталей процесу відновлення та адаптувати програми реабілітації для кожного пацієнта індивідуально. Окрім цього, інтеграція VR з технологіями допоміжної реабілітації, такими як екзоскелети або роботичні пристрої, може додати нові можливості для відновлення пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Спільне використання цих технологій може забезпечити більш комплексний та ефективний підхід до реабілітації. Таким чином, дослідження можливостей інтеграції віртуальної реальності з іншими сучасними підходами фізичної терапії дозволило нам визначити оптимальні способи поєднання та взаємодії для досягнення найкращих результатів у відновленні пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату [4].

Дискусія. Гравці VR, які взаємодіють з комп'ютером за допомогою рухів тіла, – це нове слово у формах лікування в реабілітаційних установах. Віртуальна реальність має три компоненти: взаємодія, занурення та уява [12]. VR стала терапевтичним інструментом у багатьох галузях медицини та реабілітації. Зменшення вартості й простота використання цієї технології зробили її ефективним інструментом і трендом у багатьох різних сферах. Люди, які страждають від болю та обмежень рухів після серйозних травм, тепер мають можливість реабілітуватися за допомогою 3D-системи нового покоління CAREN. Ця справді революційна біомеханічна система VR розроблена для реабілітації військовослужбовців і спортсменів, які отримали серйозні поранення, щоб допомогти відновити ходьбу, поставу та рівновагу, руховий контроль, а також зменшити біль у спині, спричинений різними травмами. Окрім об'єктивної стандартизованої клінічної оцінки ходи та балансу, CAREN створює повсякденне функціональне середовище для терапії в складних, але безпечних умовах [3; 12]. Підбираючи лікування пацієнтів за допомогою мотивуючих і складних вправ-ігор для ходи та рівноваги, пацієнтів

навчають у безпечному, але складному середовищі. CAREN має медичний сертифікат. Це дозволяє ефективно лікувати порушення рівноваги або ходи, спричинені захворюваннями неврологічного, ортопедичного чи іншого походження. До таких станів належать інсульт, церебральний параліч, ампутація нижніх кінцівок, хвороба Паркінсона, черепно-мозкова травма, травма спинного мозку. Завдяки біговій доріжці з подвійним ременем, установленій на рухомій платформі з кутом 6-ти ступенів свободи, системі захоплення руху, захоплюючому й інтерактивному середовищу та спеціальним пакетам програмного забезпечення в режимі реального часу і в автономному режимі CAREN є найдосконалішою системою для досліджень рухів людини, навчання та оцінювання [3]. Використовуючи вдосконалену віртуальну та доповнену реальність, рухову базу з 6 DOF і високоефективну бігову доріжку з розділеним поясом, CAREN забезпечить високоефективні програми тренування ходи та рівноваги. Побудова інтегрованих оцінювань дозволяє створити безпечне практичне середовище для складних обставин у реальному житті, для тестування хворих на найвищому рівні. Також завдяки інтегрованому аналізу руху та здатності повністю контролювати динамічне середовище платформа CAREN забезпечує більш реалістичні й складні обставини, що дозволяє досліджувати ефективність протезування або мобільних екзоскелетів і оцінити поведінку пацієнта за допомогою віртуальних додатків з повним зануренням [3].

Після проведення систематичного аналізу наукових джерел та оцінки ефективності методик ВР у фізичній терапії пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату ми отримали вагомні результати, які свідчать про потужний потенціал ВР у реабілітаційній практиці. Зазначена революційна зміна у способах лікування виявилася вже не лише технологічною новацією, але й значущим кроком у покращенні ефективності та якості реабілітаційного процесу. Приділення уваги ключовим тенденціям та результатам досліджень довело, що ВР дійсно сприяє поліпшенню реабілітаційних результатів, особливо у сфері

травм опорно-рухового апарату. Відзначено, що ефективність методик ВР підтверджується наявними даними з досліджень, які підтримують відмінні результати відновлення функцій пацієнтів. Визначено, що особливо прогресивними є підходи, які комбінують ігрові елементи з традиційними фізіотерапевтичними вправами [4; 8]. Такий підхід надає можливість пацієнтам більше зосередитися на реабілітації та підвищити їхню мотивацію до активної участі. Розкриваючи переваги ВР у реабілітації, ми встановили, що індивідуалізація програм, покращення мотивації пацієнтів, а також збільшення ефективності та швидкості відновлення функцій опорно-рухового апарату – це лише деякі з важливих факторів, які роблять ВР вельми привабливим інструментом у фізичній терапії. Такі позитивні аспекти допомагають досягати більш високих та стабільних результатів порівняно з традиційними методами. Специалізована біомеханічна система ВР, така як CAREN, вирішує ряд проблем, пов'язаних з реабілітацією пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату, і поєднує практичність, реалістичність та аналітичність. Інтегруючи аналіз руху, віртуальне середовище та бігову доріжку, ця система дозволяє проводити комплексне дослідження рухів пацієнта та відстежувати їх покращення. Результати дослідження вказують на те, що використання інноваційних методик віртуальної реальності у фізичній терапії пацієнтів з травмами опорно-рухового апарату є ефективним підходом, а інтеграція ВР з іншими методами реабілітації дозволяє створити комплексні програми, які сприяють якісному та швидкому відновленню функцій опорно-рухового апарату у пацієнтів із травмами [4; 8].

Що стосується використання ВР-технологій у реабілітації, то треба зазначити, що віртуальна реальність, як і будь-який інший високотехнологічний метод, має переваги та недоліки порівняно з традиційними методами фізичної реабілітації. Одним з очевидних недоліків ВР є висока вартість апаратного та програмного забезпечення, необхідного для досягнення ефекту повного занурення у вірту-

альний простір. Однак, незважаючи на ці недоліки, віртуальна реальність має низку незаперечних переваг: більшість пацієнтів, які брали участь у VR-терапії, були набагато більш мотивованими, ніж за традиційної фізичної реабілітації. Під час реабілітаційних сесій у VR пацієнтам доводилося брати на себе різні ролі, виконувати різноманітні завдання, які були б неможливими в реальному житті. Реабілітація з використанням додатків VR покращила емоційний стан пацієнтів і зробила їхній шлях до одужання ще більш позитивним [7].

Висновки дослідження підкреслюють важливість та перспективність використання інноваційних методик VR у фізичній терапії пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Зважаючи на отримані результати, ми зробили такі висновки:

1. Ефективність VR у реабілітації: використання VR показало значущий вплив на процес реабілітації пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Інноваційні методики дозволяють створити індивідуалізовані та мотивуючі програми, що сприяють поліпшенню моторних навичок, рухового контролю і загального фізичного стану пацієнтів.

2. Вигоди для пацієнтів: використання VR не лише покращує фізичний стан пацієнтів, але й позитивно впливає на їхню мотивацію та віру в успішне відновлення. Віртуальна реальність створює занурене та захоплююче середовище, що допомагає забути про біль і стрес, а також забезпечує більш позитивний підхід до реабілітації.

3. Комплексність підходу: інтеграція VR з іншими методами фізичної терапії дозволяє створити комплексні програми, які врахову-

ють індивідуальні особливості пацієнтів та забезпечують більш глибоке та ефективне відновлення.

4. Перспективи досліджень: оскільки технології VR постійно розвиваються, важливо проводити додаткові дослідження з метою вдосконалення та адаптації методик до потреб реабілітаційної практики. Дослідження можливостей інтеграції VR з іншими підходами також відкриває нові горизонти для подальших наукових досліджень.

Підсумовуючи дослідження, можемо зазначити перспективи розвитку досліджень у даному напрямі в області використання інноваційних методик VR у фізичній терапії пацієнтів із травмами опорно-рухового апарату. Для повного розуміння ефективності VR у реабілітації необхідно провести довгострокові спостереження за пацієнтами після закінчення терапії. Це дозволить визначити тривалість і стабільність отриманих результатів. Подальші дослідження можуть спрямовуватися на розроблення та вдосконалення спеціалізованих програм тренувань з використанням VR для конкретних видів травм і патологій опорно-рухового апарату. Важливо порівняти ефективність методик VR із традиційними підходами реабілітації та іншими інноваційними методами. Це допоможе визначити найбільш перспективні та результативні варіанти лікування. Подальші дослідження в цих напрямках допоможуть удосконалити використання інноваційних методик віртуальної реальності у фізіотерапії та принести ще більше користі пацієнтам із травмами опорно-рухового апарату.

Література

1. Попадюх Ю. А. Сучасні комп'ютеризовані комплекси та системи у технологіях фізичної реабілітації : навч. посіб. К. : Центр учбової літератури, 2017. 300 с.
2. Alfieri F.M., Da Silva Dias C., De Oliveira N.C., Battistella L.R. Gamification in Musculoskeletal Rehabilitation. *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* 2022. № 15. P. 629–636.
3. Blasco J., Igual-Camacho C., Blasco M., Antón-Antón V., Ortiz-Llueca L., Roig-Casasús S. The efficacy of virtual reality tools for total

References

1. Popadiukh Yu. A. (2017). *Suchasni kompiuteryzovani komplekxy ta systemy u tekhnolohii-akh fizychnoi rehabilitatsii [Modern computerized complexes and systems in physical rehabilitation technologies]*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury [in Ukrainian].
2. Alfieri, F.M., Da Silva Dias C., De Oliveira, N.C., Battistella, L.R. (2022). Gamification in Musculoskeletal Rehabilitation. *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.*, 15, 629–636 [in English].

knee replacement rehabilitation: A systematic review. *Physiother. Theory Pract.* 2021. № 37. P. 682–692.

4. Brea-Gómez B., Torres-Sánchez I., Ortiz-Rubio A., Calvache-Mateo A., Cabrera-Martos I., López-López L., Valenza M.C. Virtual Reality in the Treatment of Adults with Chronic Low Back Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021. № 18. 11806 p.

5. Chang Y.J., Chen S.F., Huang J.D. A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. *Res. Dev. Disabil.* 2011. № 32. P. 2566–2570. DOI: 10.1016/j.ridd.2011.07.002.

6. Dos Santos Mendes F.A., Pompeu J.E., Modenesi Lobo A., Guedes da Silva K., Oliveira T de P., Peterson Zomignani A., Pimentel Piemonte M.E. Motor learning, retention and transfer after virtual-reality-based training in Parkinson's disease—Effect of motor and cognitive demands of games: A longitudinal, controlled clinical study. *Physiotherapy.* 2012. № 98. P. 217–223. DOI: 10.1016/j.physio.2012.06.001.

7. Jin C., Feng Y., Ni Y., Shan Z. Virtual reality intervention in postoperative rehabilitation after total knee arthroplasty: A prospective and randomized controlled clinical trial. *Int. J. Clin. Exp. Med.* 2018. № 11. P. 6119–6124.

8. Kantha P., Lin J.J., Hsu W.L. The Effects of Interactive Virtual Reality in Patients with Chronic Musculoskeletal Disorders: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Games Health J.* 2023. № 12. P. 1–12.

9. Levac D., Glegg S., Colquhoun H., Miller P., Noubary F. Virtual Reality and Active Videogame-Based Practice, Learning Needs, and Preferences: A Cross-Canada Survey of Physical Therapists and Occupational Therapists. *Games Health J.* 2017. № 6. P. 217–228. DOI: 10.1089/g4h.2016.0089.

10. Musculoskeletal health. World Health Organization (WHO). URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions> (дата звернення: 22.08.2023).

11. Thomas J.S., France C.R., Applegate M.E., Leitkam S.T., Walkowski S. Feasibility and Safety of a Virtual Reality Dodgeball Intervention for Chronic Low Back Pain: A Randomized Clinical Trial. *J. Pain.* 2016. № 17. P. 1302–1317.

12. Vogt S., Skjæret-Maroni N., Neuhaus D., Baumeister J. Virtual reality interventions for balance prevention and rehabilitation after

3. Blasco J., Igual-Camacho C., Blasco M., Antón-Antón V., Ortiz-Llueca L., Roig-Casasús S. (2021). The efficacy of virtual reality tools for total knee replacement rehabilitation: A systematic review. *Physiother. Theory Pract.*, 37, 682–692 [in English].

4. Brea-Gómez B., Torres-Sánchez I., Ortiz-Rubio A., Calvache-Mateo A., Cabrera-Martos I., López-López L., et al. (2021) Virtual Reality in the Treatment of Adults with Chronic Low Back Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 11806 [in English].

5. Chang Y.J., Chen S.F., Huang J.D. (2011). A Kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities doi: 10.1016/j.ridd.2011.07.002. [in English].

6. Dos Santos Mendes F.A., Pompeu J.E., Modenesi Lobo A., Guedes da Silva K., Oliveira Tde P., Peterson Zomignani A., et al. (2012). Motor learning, retention and transfer after virtual-reality-based training in Parkinson's disease—Effect of motor and cognitive demands of games: A longitudinal, controlled clinical study. *Physiotherapy*, 98, 217–223. doi: 10.1016/j.physio.2012.06.001. [in English].

7. Jin C., Feng Y., Ni Y., Shan Z. (2018). Virtual reality intervention in postoperative rehabilitation after total knee arthroplasty: A prospective and randomized controlled clinical trial. *Int. J. Clin. Exp. Med.*, 11, 6119–6124 [in English].

8. Kantha P., Lin J.J., Hsu W.L. (2023). The Effects of Interactive Virtual Reality in Patients with Chronic Musculoskeletal Disorders: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Games Health J.*, 12, 1–12 [in English].

9. Levac D., Glegg S., Colquhoun H., Miller P., Noubary F. (2017). Virtual Reality and Active Videogame-Based Practice, Learning Needs, and Preferences: A Cross-Canada Survey of Physical Therapists and Occupational Therapists. *Games Health J.* doi: 10.1089/g4h.2016.0089 [in English].

10. Musculoskeletal health. World Health Organization (WHO). <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions> [in English].

11. Thomas J.S., France C.R., Applegate M.E., Leitkam S.T., Walkowski S. (2016). Feasibility and Safety of a Virtual Reality Dodgeball Intervention for Chronic Low Back Pain: A Randomized Clinical Trial. *J. Pain.*, 17, 1302–1317 [in English].

musculoskeletal lower limb impairments in young up to middle-aged adults: A comprehensive review on used technology, balance outcome measures and observed effects.

Отримано: 12.10.2023

Прийнято: 03.11.2023

Опубліковано: 28.12.2023

12. Vogt, S., Skjæret-Maroni, N., Neuhaus, D., Baumeister, J. (2019). Virtual reality interventions for balance prevention and rehabilitation after musculoskeletal lower limb impairments in young up to middle-aged adults: A comprehensive review on used technology, balance outcome measures and observed effects. *Int. J. Med. Inf.*, 126, 46–58 [in English].

Received on: 12.10.2023

Accepted on: 03.11.2023

Published on: 28.12.2023