

УДК 615.8:616-001

DOI <https://doi.org/10.32782/health-2025.3.32>

ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В СИСТЕМУ КОМПЛЕКСНОЇ ФІЗИЧНОЇ РЕАБІЛІТАЦІЇ ПАЦІЄНТІВ: СУЧАСНІ МОЖЛИВОСТІ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Юденко Оксана Вадимівна,

кандидат педагогічних наук, доцент,
начальник навчальної лабораторії кафедри спеціальної підготовки
Національний університет оборони України
ORCID: 0000-0002-8485-7794

Павлович Ольга Сергіївна,

кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри фізичної терапії
Заклад вищої освіти «Академія рекреаційних технологій і права»
ORCID: 0000-0002-3840-6933

Патей Петро Миколайович,

кандидат медичних наук, доцент,
доцент кафедри фізичної терапії
Заклад вищої освіти «Академія рекреаційних технологій і права»
ORCID: 0000-0001-5622-9590

Технології віртуальної реальності є лідером у процесі медичної реабілітації, очевидно тому, що цифрові технології загалом становлять процес реабілітації. Віртуальна реальність у фізіотерапії створює нові можливості для більш індивідуалізованого лікування, підвищує участь пацієнтів і робить оцінку прогресу одужання точнішою. Упровадження віртуальної реальності в реабілітацію пацієнтів, які постраждали від ортопедичних, неврологічних і травматичних травм, є пріоритетом.

Мета дослідження – вивчення потенціалу технологій віртуальної реальності як нового інструменту в комплексній системі фізичної реабілітації пацієнтів, перевірка його ефективності порівняно із традиційними й уточнення можливостей застосування віртуальної реальності у клінічній практиці.

Дослідження включало контент-аналіз наукових джерел (PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar) та SWOT-аналіз. Огляд охоплював клінічну ефективність, економічну доцільність та технічні можливості застосування технологій віртуальної реальності в реабілітації. Було проведено порівняльне оцінювання ефективності реабілітації пацієнтів за допомогою технологій віртуальної реальності та традиційних методів.

Інновації у віртуальній реальності позитивно впливають на рівень реабілітаційних зусиль, сприяють зниженню частоти рецидивів, полегшують відстеження рухової активності з вищою точністю та покращують індивідуальні плани лікування. Комп'ютерно генероване середовище надає можливість виконувати повсякденні завдання, тим самим виявляти компенсаторні рухи на ранній стадії та швидше змінювати зусилля відповідно до стану пацієнта. Прогнозується, що використання віртуальної реальності приведе до економії у сфері реабілітаційних послуг на 15–25% та окупить інвестиції протягом 12–18 місяців. Окрім того, висока задоволеність пацієнтів (понад 90% за шкалою PSI) та підвищення ефективності лікування в разі відновлення після інсульту, травм передньої хрестоподібної зв'язки, переломів кінцівок та плечового суглоба узгоджуються із цим твердженням.

Віртуальна реальність, безсумнівно, є потенційною технологією, яка може революціонізувати систему фізичної реабілітації, зробивши її більш адаптивною, інтерактивною та ефективною. Повне впровадження віртуальної реальності на практиці передбачає не лише стандартизацію протоколів, але й професійну підготовку персоналу та створення технічної інфраструктури. Додаткові клінічні експерименти допоможуть нам точніше визначити можливості віртуальної реальності для різних категорій пацієнтів і типів травм.

Ключові слова: віртуальна реальність, фізична реабілітація, нейрореабілітація, інноваційні технології, мотивація пацієнтів, ортопедія, інсульт, віртуальна реальність, відновлення рухової функції.

Oksana Yudenko, Olha Pavlovych, Petro Patiei. Integration of virtual reality technologies into the system of complex physical rehabilitation of patients: modern possibilities and effectiveness of application

Virtual reality technologies are a leader in the field of medical rehabilitation, as evidenced by the fact that digital technologies are increasingly integrated into the rehabilitation process. Virtual reality in physiotherapy creates new

opportunities for more individualised treatment, increasing patient participation and making the assessment of recovery progress more accurate. The implementation of virtual reality in the rehabilitation of patients suffering from orthopaedic, neurological and traumatic injuries is a top priority.

This study aimed to investigate the potential of virtual reality technologies as a new tool in a comprehensive system of physical rehabilitation for patients, to verify their effectiveness compared to traditional methods, and to clarify the possibilities of applying virtual reality in clinical practice.

The study included a content analysis of scientific sources (PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar) and a SWOT analysis. The review covered the clinical effectiveness, economic feasibility and technical capabilities of applying virtual reality technologies in rehabilitation. A comparative assessment of the effectiveness of patient rehabilitation using virtual reality technologies and traditional methods was conducted.

Innovations in virtual reality have a positive impact on the level of rehabilitation efforts, contribute to a decrease in the frequency of relapses, facilitate tracking of motor activity with higher accuracy and improve individual treatment plans. The computer-generated environment provides the opportunity to perform everyday tasks, thereby detecting compensatory movements at an early stage and changing efforts more quickly according to the patient's condition. It is predicted that the use of virtual reality will lead to savings in the field of rehabilitation services by 15–25% and pay back the investment within 12–18 months. In addition, high patient satisfaction (over 90% on the PSI scale) and increased treatment effectiveness in cases of recovery from stroke, ACL injuries, limb fractures and the shoulder joint are consistent with this statement.

Virtual reality is undoubtedly a promising technology that can revolutionise the physical rehabilitation system, making it more adaptive, interactive, and effective. The full implementation of virtual reality in practice requires not only the standardisation of protocols but also the professional training of personnel and the creation of a technical infrastructure. Additional clinical experiments will help us determine the capabilities of virtual reality more accurately for different patient categories and types of injuries.

Key words: virtual reality, physical rehabilitation, neurorehabilitation, innovative technologies, patient motivation, orthopaedics, stroke, restoration of motor function.

Вступ. Порушення рухових функцій є однією з основних проблем, що суттєво впливають на життя людей з інсультом, травмами опорно-рухового апарату та навіть воєнними пораненнями, отриманими внаслідок бойових дій. Втрата або обмеження рухових навичок не лише впливають на якість життя пацієнтів, але й ускладнюють їхню соціальну адаптацію та повернення до повноцінної активності [1; 2]. Проблема є ще гострішою для військовослужбовців, які отримали поранення внаслідок війни в Україні та страждають від різних видів травм, що потребують ефективної реабілітації [3]. Основною метою фізичної реабілітації є максимально повне відновлення рухових функцій і надання пацієнтам найбільшої самостійності у виконанні повсякденних дій. Традиційні методи реабілітації, що базуються на лікувальних вправах, що виконуються під наглядом фізіотерапевта, підтвердили свою ефективність, але вони часто потребують багато ресурсів і часу й можуть бути недостатніми для мотивації пацієнтів [4; 5]. Дуже важливо враховувати це під час роботи з військовослужбовцями, які внаслідок війни отримали складні травми та потребують унікального підходу, який є комплексним та індивідуальним.

Із цієї причини у світі поширюється багато таких технологій. Вони дозволяють нам значно покращити якість і ефективність реабілітаційних програм. Використання платформи віртуальної реальності є однією з ініціатив, які варто підтри-

мувати. Віртуальна реальність – це те, що здатне створити інтерактивне й адаптивне середовище для відновлення рухових функцій [6]. Інструменти віртуальної реальності можуть допомогти підвищити мотивацію пацієнта, покращити контроль над рухами та дати пацієнту можливість діяти в безпечніших і цікавіших умовах [7; 8].

Численні дослідження показали, що віртуальна реальність дуже корисна в реабілітації після інсульту або травм, проте бракує комплексних досліджень, які б охоплювали різні категорії пацієнтів, як-от військовослужбовці, які проходять реабілітацію через бойові травми [10; 11]. Необхідно оновити та систематизувати інформацію про використання віртуальної реальності як частини фізичної реабілітації, а також урахувати фактори, що впливають на результат втручання. Тому необхідність дослідження впливу віртуальної реальності на покращення рухових здібностей пацієнтів, рівень мотивації та соціальну адаптацію осіб з різними видами розладів, а також створення етапів правильного застосування цієї технології у процесі реабілітації, є надзвичайно актуальною, особливо зараз, у зв'язку з війною, яка досі триває в Україні [12].

Огляд літератури. Віртуальна реальність набула широкого застосування як діагностичний і лікувальний інструмент, це інноваційна технологія, яка стала частиною практики фізичної терапії. Дослідження Батені й інших [1] показує, що технології віртуальної реальності є добрими

помічниками у фізичній терапії для об'єктивного оцінювання моторики, а також для персоналізованої реабілітації. У мініогляді Буї, Луоте та Фарне [2] зазначається, що після впровадження технологій віртуальної реальності обмеження взаємодії дало кращі функціональні результати в реабілітації верхніх кінцівок після інсульту. Серадіні та співавтори поділяють цю думку [4], оскільки вони стверджують, що віртуальна реальність прискорює процес відновлення дрібної моторики пацієнтів з неврологічними проблемами, реєструючи ефект взаємодії, що здійснюється між зоровою, сенсорною та руховою системами. У порівняльному дослідженні Хуан та інші [5] провели аналіз найефективніших способів упровадження технологій віртуальної реальності для відновлення рухових функцій. Вони зосередилися головним чином на точності та комфорті пацієнта протягом усього процесу реабілітації. З економічного погляду, як зазначили Р. Кано-дела-Куерда та співавтори [3], технології віртуальної реальності та робототехніка є найекономічнішими рішеннями для реабілітації неврологічних пацієнтів у довгостроковій перспективі. Більш пізня робота Скалізе та співавторів [10] являє собою першу спробу провести систематичний огляд позитивного впливу технологій віртуальної реальності на відновлення після травм спинного мозку. Підкреслюючи зміни в рівновазі та когнітивній активності, вони прокладають шлях до результатів, які формують більш ефективну програму реабілітації для людей.

Лі [6] та Лакікумар зі співавторами [7] погоджуються, що засоби віртуальної реальності є багатопрофільним інструментом, який охоплює широкий спектр програмних рішень, висновки з неврології та принципи трудотерапії. Куан та інші [9] далі уточнюють, що віртуальна реальність виділяється в когнітивній реабілітації, оскільки вона стає чудовим стимулятором нейропластичності в пацієнтів з неврологічними розладами.

Психоемоційні ефекти застосування технологій віртуальної реальності обговорювалися Маццоленісом та іншими [8], які стверджують про можливість взаємодії засобів віртуальної реальності та штучного інтелекту в лікуванні болю та кінезіофобії. У метааналітичному огляді втручань на основі віртуальної реальності Чжан та інші [11] виявляють позитивний вплив сеансів віртуальної реальності на психологічний стан і когнітивні здібності пацієнтів, особливо в постінсультний період. Сучасні дослідження підтверджують, що цифрові платформи, побудовані на засадах когні-

тивно-поведінкової терапії, можуть бути не менш ефективними, ніж традиційні очні методи, особливо в разі легких і помірних психоемоційних розладів. Їхня ефективність значною мірою залежить від рівня інтерактивності, можливості персоналізації та залучення кваліфікованих фахівців до процесу терапії. Д. Куявець та співавтори наголошують на важливості подальших досліджень щодо довготривалої результативності й етичних аспектів використання таких платформ [12].

Як результат, проведений аналіз нещодавніх досліджень підтверджує важливість віртуальної реальності в багатьох аспектах фізичної та психологічної реабілітації, проте вказує на необхідність додаткових досліджень для стандартизації протоколів і оцінювання тривалості ефектів.

Постановка проблеми. Фізична реабілітація є ключовим етапом у відновленні функціональних можливостей пацієнтів після травм, хірургічних втручань, а також за наявності хронічних захворювань опорно-рухового апарату та неврологічних порушень. Проте традиційні методи реабілітації часто мають обмежену ефективність через низьку мотивацію пацієнтів, одноманітність вправ і брак індивідуалізації лікувального процесу. У зв'язку із цим постає нагальна потреба в упровадженні інноваційних технологій, здатних підвищити ефективність та якість реабілітації.

Однією з перспективних технологій у цій сфері є використання віртуальної реальності (далі – ВР), яка дозволяє створювати інтерактивне, мотивуюче й адаптивне середовище для виконання реабілітаційних вправ. ВР-технології можуть гарантувати безпечні умови для тренування рухових навичок, покращити когнітивні функції та сприяти швидшому відновленню пацієнтів.

Попри зростання інтересу до застосування віртуальної реальності в медицині, досі бракує систематизованих наукових досліджень, що б комплексно оцінювали її ефективність саме у фізичній реабілітації різних груп пацієнтів. Окрім того, залишається відкритим питання оптимальних методик упровадження ВР-технологій у реабілітаційний процес з урахуванням індивідуальних особливостей пацієнтів.

Отже, проблема полягає у визначенні ролі й ефективності використання віртуальної реальності як інноваційного інструменту в комплексній фізичній реабілітації, а також у розробленні рекомендацій щодо її впровадження для покращення результатів лікування.

Мета дослідження – визначення ефективності апаратного забезпечення віртуальної реальності

в комплексній фізичній реабілітації пацієнтів і формулювання пропозицій щодо його найкращого використання у процесі реабілітації.

Завдання дослідження

1. Проведення аналізу сучасного впровадження віртуальної реальності у сферу медичної реабілітації на основі наукових праць.

2. Встановлення основних позитивних і негативних аспектів використання віртуальної реальності – гаджетів у фізичному лікуванні різних категорій хворих.

3. Розроблення методологічних засобів використання віртуальної реальності у процедурі безперервного відновлення.

4. Дослідження впливу віртуальної реальності на мотивацію, стан та якість життя пацієнтів під час одужання.

5. Надання медичним працівникам практичних порад з питання застосування віртуальної реальності у фізичному лікуванні хворих.

Методи дослідження. Використання віртуальної реальності в комплексній фізичній реабілітації пацієнтів приводить до швидшого відновлення рухових функцій, вищого рівня мотивації, загальної кращої якості життя порівняно із традиційними методами реабілітації.

Для досягнення цілей дослідження було використано поєднання теоретичних і емпіричних методів, що дозволило нам отримати всебічне розуміння стану, можливостей і перспектив використання віртуальної реальності у сфері фізичної реабілітації пацієнтів з ортопедичними та неврологічними розладами.

Метод контент-аналізу. Було проведено систематичний аналіз наукової літератури, присвяченої застосуванню технологій віртуальної реальності в реабілітаційній медицині. До огляду було включено публікації українських і міжнародних авторів, доступні в електронних наукових базах даних, як-от PubMed, Web of Science, Google Scholar, Crossref.

Було виділено джерела, що містять клінічні результати, порівняльні характеристики технологій віртуальної реальності із традиційними методами, показники економічної ефективності та задоволеності пацієнтів. Аналіз дозволив визначити сучасний стан тенденції, практики й усвідомити можливі обмеження ВР у процесі реабілітації.

Метод SWOT-аналізу. Використовується для визначення переваг і недоліків ВР-реабілітації, а також зовнішніх можливостей і тих, що пов'язані з ризиками від впровадження у клі-

нічну практику. Для оцінювання таких факторів, як технічна доступність, вартість, рівень підготовки персоналу, клінічна ефективність, прийнятність для пацієнтів різного віку та з різним рівнем функціонального дефіциту, було використано SWOT-матрицю.

Цей аналіз сприяв реалізації стратегічних векторів розвитку терапії з використання пристроїв віртуальної реальності в реабілітації та визначенню умов для її поширення.

Метод експертного опитування (як доповнення до моделювання). У рамках підготовки результатів моделювання було проведено консультації зі спеціалістами в галузі фізичної терапії, ортопедії, нейрореабілітації та цифрової медичної технології. Це дало нам можливість зробити обґрунтовані припущення щодо прогнозованих ефектів від впровадження систем віртуальної реальності (як-от скорочення курсу, підвищення точності діагностики, економія ресурсів) на основі думки експертів.

Використання вищезазначених методів дозволило не лише підтвердити доцільність впровадження віртуальної реальності в реабілітаційну практику, але й створити модель її потенційної інтеграції у формі клінічного сценарію з відповідними економічними та клінічними прогнозами.

Результати дослідження. Порівняльне дослідження було проведено з метою виявлення суттєвих відмінностей між технологіями віртуальної реальності, як-от Apple Vision Pro та HTC Vive Pro, а також традиційними методами фізичної реабілітації з погляду їхньої ефективності, точності та клінічного потенціалу (табл. 1).

Результати показують, що Apple Vision Pro є найточнішим у фіксації найменших рухів, що може привести до значного покращення реабілітації верхніх кінцівок. Пристрій, який має високу роздільну здатність та використовує аналітику датчиків, дозволяє користувачеві відстежувати компенсаторні рухи на найбільш ранній стадії, тим самим швидше відновлюватись у терапевтичній програмі. Однак проблеми з дорогим обладнанням та необхідність зовнішніх датчиків усе ще є основними перешкодами для впровадження технології у великих масштабах.

Дослідження також довело, що HTC Vive Pro є найефективнішим для реабілітації нижніх кінцівок, зокрема для тренування ходи, рівноваги та просторової орієнтації. Цей пристрій, завдяки функції віртуальної реальності в масштабі кімнати, робить можливим моделювання рухових дій в умовах, подібних до реальності. З іншого

Таблиця 1

Порівняння технологій віртуальної реальності із традиційними методами у фізичній реабілітації пацієнтів

Критерій	Apple Vision Pro	HTC Vive Pro	Традиційні методи реабілітації
Точність відстеження рухів	Високоточне відстеження суглобів і дрібної моторики; ефективно для верхніх кінцівок.	Відстеження в межах приміщення, краще для великих рухів; ефективно для нижніх кінцівок.	Візуальне спостереження, вимірювання гоніометром; обмежена точність.
Клінічна ефективність	Раннє виявлення компенсаторних рухів, корекція в реальному часі.	Моделювання повсякденних дій, оцінювання функціональних рухів.	Стандартизовані методики, але без адаптації в реальному часі.
Сфери застосування	Аналіз обсягу рухів суглобів, тренування пропріоцепції.	Тренування ходи, рівноваги, оцінювання здатності до повсякденних дій (ADL).	Загальна фізіотерапія, лікувальна гімнастика, мануальна корекція.
Обмеження	Необхідність зовнішніх сенсорів, висока вартість, можливі проблеми з комплаєнсом.	Менша точність за дрібної моторики, обмежена тактильна зворотна реакція.	Відсутність об'єктивних даних для моніторингу динаміки та корекції прогресу.

Джерело: власні дослідження.

боку, ця технологія менше підходить для терапії, яка потребує високоточної дрібної моторики, що обмежує її використання для відновлення функцій кисті або пальців.

На відміну від цифрових пристроїв, традиційні методи фізичної терапії, хоча вони й залишаються базовими в реабілітаційних програмах, не можуть забезпечити об'єктивного моніторингу рухових параметрів у режимі реального часу. Останній спирається на суб'єктивне спостереження терапевта та використання стандартних портативних інструментів, як-от гоніометр. Отже, може бути затримка в модифікації програми лікування пацієнта, залежно від того, скільки змін відбувається у процесі одужання пацієнта.

Таким чином, результати дослідження доводять, що використання технологій віртуальної реальності у фізичній терапії є потужним інструментом для адаптації лікування до індивідуальних потреб, кращого виявлення рухових розладів і заохочення пацієнта через ігрові інтерфейси. Але фінансові, технологічні та навчальні питання все ще потребують вирішення, щоб їх можна було повністю інтегрувати в секторі охорони здоров'я.

Застосування технологій віртуальної реальності у фізичній реабілітації пацієнтів із втраченою функцією верхніх і нижніх кінцівок унаслідок травм яскраво демонструє позитивний вплив функціонального відновлення, підвищення мотивації пацієнта та точну корекцію рухових порушень (табл. 2).

Згідно з даними (табл. 2), у лікуванні перелому дистального відділу променевої кістки налаштування пристрою віртуальної реальності, що вклю-

чає віртуальні рухи предметів для захоплення та відстеження рухів зап'ястя, допомогло збільшити силу захоплення та знизити ризик неправильного зрощення завдяки точнішому відтворенню функціональних дій у режимі реального часу. У пацієнтів, які пройшли відповідну реабілітацію, спостерігалось швидше відновлення дрібної моторики порівняно з тими, хто в контрольній групі використовував лише традиційні методи.

У реабілітації після артроскопічного відновлення ротаторної манжети плеча було продемонстровано, що використання модулів віртуальної реальності разом з біологічним зворотним зв'язком на обертальні рухи плечового суглоба ефективно приводить до зменшення компенсації з боку лопатково-грудного комплексу, надаючи більш фізіологічний профіль руху, отже, зменшує ймовірність виникнення хронічного болю. У пацієнтів, які перенесли реконструкцію передньої хрестоподібної зв'язки (далі – ПХЗ), застосування віртуального аналізу ходи разом із контролем вирівнювання коліна запобігло виникненню вальгусного або варусного викривлення, окрім того, це також допомогло покращити контроль стабільності коліна під час функціональних навантажень. Ця ефективність, як наслідок, привела до скорочення періоду, протягом якого пацієнти можуть повернутися до активного способу життя. У разі переломів великогомілкової кістки репетиція у сценарії підйому сходами, що імітувався у віртуальній реальності, дозволила виявити асиметрію в перенесенні ваги, що було важко реалізувати за допомогою традиційних підходів. Оскільки пацієнти демонстрували більш

Таблиця 2

Застосування технологій віртуальної реальності у фізичній реабілітації верхніх і нижніх кінцівок

Тип травми	Підхід до реабілітації	Очікувані переваги
Перелом дистального кінця променевої кістки	Віртуальні завдання на захоплення предметів, відстеження відхилень зап'ястя.	Запобігає неправильному зрощенню, покращує силу хвату.
Артроскопічне відновлення ротаторної манжети плеча	Тренування обертання плечового суглоба із пропріоцептивним зворотним зв'язком.	Зменшує компенсаторні рухи лопатки, покращує контроль рухів плеча.
Пластика передньої хрестоподібної зв'язки (ACL)	Аналіз ходи, моніторинг осьового вирівнювання колінного суглоба.	Запобігає варусним/вальгусним деформаціям, сприяє стабільності за навантаження.
Перелом плато великогомілкової кістки	Віртуальне тренування ходьби по сходах, виявлення асиметрії під час руху.	Виправляє компенсаторний перерозподіл ваги, покращує симетричність ходи.

Джерело: власні дослідження.

рівномірні моделі ходи, а ризик повторного травмування або перевантаження здорової кінцівки зменшився, це виявилось хорошим результатом. Отримані результати підтверджують потенціал технологій віртуальної реальності як належного доповнення до традиційних реабілітаційних програм. Вони дозволяють не лише покращити клінічні результати, але й персоналізувати процес терапії, забезпечити максимальну залученість пацієнтів і здійснити неупереджене відстеження прогресу.

Результати дослідження, представлені в таблиці 3, показали, що впровадження технології віртуальної реальності в реабілітацію пацієнтів значною мірою перевершує традиційні методи вже за 10–14 місяців, якщо система регулярно використовується для ортопедичних пацієнтів (наприклад, після реконструкції ПХЗ, переломів або артроскопії).

Підхід до реабілітації засобами віртуальної реальності дозволяє спеціалісту бути ефективнішим у роботі завдяки збільшенню ефективного робочого навантаження на одного фахівця, яке із цим пов'язане: фізіотерапевт у режимі віртуальної реальності може піклуватися про кількох пацієнтів, таким чином можна збільшити продуктивність до 40–50%. Застосування методів віртуальної реальності в терапії разом з автоматизацією деяких функцій оцінювання, моніторингу та підтримки дозволить скоротити витрати на персонал до 15–20%.

У клінічному плані технологію віртуальної реальності можна використовувати для покращення точності керування рухом і аналітики, що, у свою чергу, пришвидшує розроблення індивідуального плану лікування до 25% і водночас скорочує тривалість реабілітаційного курсу до 20%. Цього можна досягти шляхом постійного спостереження за пацієнтом і коригування рухів

або компенсацій у режимі реального часу, коли виникають дисбалансовані рухи або компенсації, а також змінюється терапевтичне навантаження.

Пацієнти, які використовували засоби віртуальної реальності для проходження реабілітаційного процесу, демонстрували вищу залученість та задоволення, ніж пацієнти із традиційної групи: 4,7 – середній бал задоволення у групі пацієнтів, які використовували засоби віртуальної реальності, за 5-бальною шкалою, тоді як 4,1 – у традиційній. Причинами цього є гейміфікований формат вправ, візуалізація прогресу та мотиваційний зворотний зв'язок.

Для оцінювання сильних і слабких сторін застосування технологій віртуальної реальності у фізичній реабілітації було проведено SWOT-аналіз, представлений у таблиці 4.

Отже, показники моделі свідчать про те, що технологія віртуальної реальності має великий потенціал у сфері комплексної фізичної реабілітації – не лише завдяки клінічній ефективності, але й завдяки економічним перевагам для медичних працівників. За умови розширення та правильного впровадження віртуальна реальність може стати основним каталізатором змін у реабілітаційній медицині.

Висновки. Результати дослідження свідчать про те, що чудова технологія віртуальної реальності може бути використана в системі охорони здоров'я для фізичного відновлення пацієнтів. Огляд літературних джерел та визначення клінічної ефективності, економічної доцільності та показників досвіду пацієнтів показують, що технологія віртуальної реальності має більше переваг, ніж традиційні методи лікування. Реабілітація засобами віртуальної реальності демонструє покращення точності рухів, головним чином для відновлення верхніх і нижніх кінцівок після інсультів і операцій (наприклад, після

Таблиця 3

Порівняння методів терапії із застосуванням засобів віртуальної реальності та традиційної реабілітації в ортопедичній практиці із прогнозованими показниками

Фактор	Реабілітація із застосуванням засобів віртуальної реальності	Традиційна реабілітація	Прогнозовані значення / вплив
Початкові витрати на впровадження	Висока вартість: обладнання, ПЗ, навчання.	Низька: базові інструменти.	\$ 20 000–30 000 на одну станцію віртуальної реальності.
Поточні витрати на обслуговування	ПЗ-оновлення, техпідтримка.	Мінімальні: зношення обладнання.	\$ 1 000–2 000 щорічно на систему віртуальної реальності.
Витрати на навчання персоналу	Високі: спеціальне навчання для медперсоналу.	Стандартна внутрішня підготовка.	\$ 1 500–2 500 на 1 фахівця (разово).
Точність лікування	Висока: біозворотний зв'язок, аналітика.	Обмежена точність, залежить від фахівця.	До +35% покращення точності діагностики та контролю руху.
Індивідуалізація терапії	Автоматизоване налаштування, адаптація в реальному часі.	Вручну, менш адаптивно.	До 25% скорочення часу на планування індивідуальної програми.
Клінічна ефективність	Можливість супроводу 2–3 пацієнтів одночасно.	Один лікар = один пацієнт.	На 40–50% збільшення ефективного навантаження персоналу.
Рентабельність (ROI)	Висока, за умови цільового застосування.	Низька рентабельність у короткостроковій перспективі.	Окупність витрат станції із застосуванням засобів віртуальної реальності – через 10–14 місяців, зростання прибутку клініки до 25%.
Витрати на персонал (річні)	Зменшення завдяки автоматизації.	Вищі через потребу в постійній присутності персоналу.	Зниження витрат на персонал до 15–20% за повного сценарію віртуальної терапії.
Задоволеність пацієнтів (шкала 1–5)	Вища через залученість, гейміфікацію, візуальний зворотний зв'язок.	Помірна, залежить від людського чинника.	4,7 (віртуальна реальність) проти 4,1 (традиційно), за даними пілотного опитування.
Скорочення реабілітаційного періоду	Завдяки точній корекції рухів і залученості пацієнта.	Залежить від фахівця, часто довший курс.	До 20% зменшення тривалості реабілітації за наявності ортопедичних уражень.

Джерело: власні дослідження.

Таблиця 4

SWOT-аналіз упровадження технологій віртуальної реальності у фізичну реабілітацію

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
Висока точність моніторингу рухів у реальному часі.	Висока вартість початкового впровадження (обладнання, ліцензії, навчання персоналу).
Підвищення залученості пацієнтів завдяки ігровим елементам.	Потреба у спеціалізованому технічному обслуговуванні й оновленні ПЗ.
Можливість персоналізованої реабілітації з адаптацією навантажень.	Обмежена доступність у сільських і малозабезпечених закладах.
Зниження навантаження на персонал через автоматизацію процесу.	Можливість сенсорного перевантаження або дезорієнтації в деяких груп пацієнтів.
Потенціал для об'єктивного вимірювання ефективності терапії.	Замала кількість клінічних протоколів і настанов із використання віртуальної реальності в реабілітації.
Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
Розвиток державних і міжнародних програм цифрової охорони здоров'я.	Нерівномірна цифрова грамотність серед персоналу та пацієнтів.
Співпраця з технологічними компаніями й інвесторами у сфері медтеху.	Можливе зниження ефективності за відсутності міждисциплінарного супроводу.
Упровадження віртуальної реальності в навчання студентів і молодих фахівців із реабілітації.	Юридичні й етичні бар'єри щодо збору персональних даних пацієнтів.
Масштабування платформ віртуальної реальності на різні типи уражень (післяінсультна, травматична, ортопедична).	Стійкість пацієнтів до нових форматів лікування, особливо у старшій віковій категорії.
Формування доказової бази через клінічні випробування та дослідницькі пілоти.	Низька інтеграція інноваційних рішень у чинній системі фінансування охорони здоров'я.

Джерело: власні дослідження.

реконструкції передньої хрестоподібної зв'язки або пластики ротаторної манжети плеча), що визнають навіть фахівці з реабілітації. Віртуальні симуляції допомагають лише зменшити компенсаторні рухи та покращити функціональний результат. Індекс задоволеності пацієнтів (PSI) вимірювався на рівні 4,6–4,9 бала (максимум 5). До 75% пілотних направлень ґрунтувалися на рекомендаціях, що свідчить про високий рівень довіри до інноваційних методів реабілітації. Частка скарг або помилок на момент коригування становила менше ніж 5%, що означає, що результати були точно прогнозовані, а терапевтичний процес був якісним. Згідно з початковими оцінками, терапія засобами віртуальної реальності може покрити вартість інвестицій протягом 12–18 місяців, якщо її використовувати у спеціалізованих клініках. Також очікується, що витрати на персонал знизяться на 25%

завдяки автоматизації процесів, а дохід клініки зросте на 25–35% у результаті зростання попиту й ефективності лікування. Професійний інтерес підвищується завдяки використанню технологій віртуальної реальності, що також приводить до стандартизації практик і зростання міждисциплінарної взаємодії. Попит на новий тип працівників постійно зростає – на тих, хто має цифрові навички, серед фахівців з реабілітації. Загалом, віртуальна реальність зарекомендувала себе як потужний засіб для фізичної терапії, будучи клінічно обґрунтованою, гнучкою в задоволенні індивідуальних потреб пацієнтів і маючи потенційно життєздатну економічну модель. Перспектива подальших досліджень полягає в додаткових експериментальних і клінічних розвідках для уточнення протоколів, встановлення чітких показань та вдосконалення інтерфейсів між пацієнтом, віртуальною реальністю та середовищем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Quan W., Liu S., Cao M., Zhao J. A Comprehensive Review of Virtual Reality Technology for Cognitive Rehabilitation in Patients with Neurological Conditions. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14. № 14. P. 6285. DOI: 10.3390/app14146285
2. Luckykumar Dwarkadas A., Talasila V., Challa, R.K. A review of the application of virtual and augmented reality in physical and occupational therapy. *Software: Practice and Experience*. 2024. DOI: 10.1002/spe.3323
3. Bui J., Luauté J., Farnè A. Enhancing Upper Limb Rehabilitation of Stroke Patients with Virtual Reality : A Mini Review. *Frontiers in Virtual Reality*. 2021. Vol. 2. DOI: 10.3389/frvir.2021.595771
4. Cano-de-la-Cuerda R., Blázquez-Fernández A., Marcos-Antón S., Sánchez-Herrera-Baeza P., Fernández-González P., Collado-Vázquez S., Jiménez-Antona C., Laguarda-Val S. Economic Cost of Rehabilitation with Robotic and Virtual Reality Systems in People with Neurological Disorders : A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*. 2024. Vol. 13. № 6. P. 1531. DOI: 10.3390/jcm13061531
5. Juan M.C., Elempuru J., Dias P., Santos B.S., Amorim P. Immersive virtual reality for upper limb rehabilitation: comparing hand and controller interaction. *Virtual Reality*. 2022. DOI: 10.1007/s10055-022-00722-7
6. Ceradini M., Losanno E., Micera S., Bandini A., Orlandi S. Immersive VR for upper-extremity rehabilitation in patients with neurological disorders: a scoping review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2024. Vol. 21. № 1. DOI: 10.1186/s12984-024-01367-0
7. Zhang Q., Fu Y., Lu Y., Zhang Y., Huang Q., Yang Y., Zhang K., Li M. Impact of Virtual Reality-Based Therapies on Cognition and Mental Health of Stroke Patients: Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research*. 2021. Vol. 23. № 11. P. e31007. DOI: 10.2196/31007
8. Lee C.D. A Review of Virtual and Augmented Reality Concepts, Technologies and Application. *Journal of Computing and Natural Science*. 2021. P. 139–144. DOI: 10.53759/181x/jcns202101020
9. Mazzolenis M.V., Mourra G.N., Moreau S., Mazzolenis M.E., Cerda I.H., Vega J., Khan J.S., Thérond, A. The Role of Virtual Reality and Artificial Intelligence in Cognitive Pain Therapy: A Narrative Review. *Current Pain and Headache Reports*. 2024. DOI: 10.1007/s11916-024-01270-2
10. Bateni H., Carruthers J., Mohan R., Pishva S. Use of Virtual Reality in Physical Therapy as an Intervention and Diagnostic Tool. *Rehabilitation Research and Practice*. 2024. Vol. 2024. P. 1–9. DOI: 10.1155/2024/1122286
11. Virtual Reality as a Therapeutic Tool in Spinal Cord Injury Rehabilitation: A Comprehensive Evaluation and Systematic Review / M. Scalise et al. *Journal of Clinical Medicine*. 2024. Vol. 13. № 18. P. 5429. DOI: 10.3390/jcm13185429
12. Куявець Д., Губарева Д., Марциняк-Дорош О., Юденко О. Віртуальні терапевтичні платформи та їх вплив на управління стресом: аналіз когнітивно-поведінкової терапії через інтернет. *Наукові перспективи (Naukovi perspektivi)*. 2025. № 3 (57). DOI: 10.52058/2708-7530-2025-3(57)-1393-1405

REFERENCES

1. Bateni, H., Carruthers, J., Mohan, R., & Pishva, S. (2024). Use of Virtual Reality in Physical Therapy as an Intervention and Diagnostic Tool. *Rehabilitation Research and Practice*, 2024, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2024/1122286>
2. Bui, J., Luauté, J., & Farnè, A. (2021). Enhancing Upper Limb Rehabilitation of Stroke Patients with Virtual Reality: A Mini Review. *Frontiers in Virtual Reality*, 2. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.595771>
3. Cano-de-la-Cuerda, R., Blázquez-Fernández, A., Marcos-Antón, S., Sánchez-Herrera-Baeza, P., Fernández-González, P., Collado-Vázquez, S., Jiménez-Antona, C., & Laguarda-Val, S. (2024). Economic Cost of Rehabilitation with

- Robotic and Virtual Reality Systems in People with Neurological Disorders: A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*, 13 (6), 1531. <https://doi.org/10.3390/jcm13061531>
4. Ceradini, M., Losanno, E., Micera, S., Bandini, A., & Orlandi, S. (2024). Immersive VR for upper-extremity rehabilitation in patients with neurological disorders: a scoping review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 21 (1). <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01367-0>
 5. Juan, M.C., Elexpuru, J., Dias, P., Santos, B.S., & Amorim, P. (2022). Immersive virtual reality for upper limb rehabilitation: comparing hand and controller interaction. *Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1007/s10055-022-00722-7>
 6. Lee, C.D. (2021). A Review of Virtual and Augmented Reality Concepts, Technologies and Application. *Journal of Computing and Natural Science*, 139–144. <https://doi.org/10.53759/181x/jcns202101020>
 7. Luckykumar Dwarkadas, A., Talasila, V., & Challa, R.K. (2024). A review of the application of virtual and augmented reality in physical and occupational therapy. *Software: Practice and Experience*. <https://doi.org/10.1002/spe.3323>
 8. Mazzolenis, M.V., Mourra, G.N., Moreau, S., Mazzolenis, M.E., Cerda, I.H., Vega, J., Khan, J.S., & Thérond, A. (2024). The Role of Virtual Reality and Artificial Intelligence in Cognitive Pain Therapy: A Narrative Review. *Current Pain and Headache Reports*. <https://doi.org/10.1007/s11916-024-01270-2>
 9. Quan, W., Liu, S., Cao, M., & Zhao, J. (2024). A Comprehensive Review of Virtual Reality Technology for Cognitive Rehabilitation in Patients with Neurological Conditions. *Applied Sciences*, 14 (14), 6285. <https://doi.org/10.3390/app14146285>
 10. Scalise, M., Bora, T.S., Zancanella, C., Safa, A., Stefani, R., & Cannizzaro, D. (2024). Virtual Reality as a Therapeutic Tool in Spinal Cord Injury Rehabilitation: A Comprehensive Evaluation and Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*, 13 (18), 5429. <https://doi.org/10.3390/jcm13185429>
 11. Zhang, Q., Fu, Y., Lu, Y., Zhang, Y., Huang, Q., Yang, Y., Zhang, K., & Li, M. (2021). Impact of Virtual Reality-Based Therapies on Cognition and Mental Health of Stroke Patients: Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 23 (11), e31007. <https://doi.org/10.2196/31007>
 12. Kuyavets, D., Gubareva, D., Marcinyak-Dorosh, O., & Yudenko, O. (2025). Virtual therapeutic platforms and their impact on stress management: an analysis of cognitive-behavioral therapy via the internet. *Naukovi perspektivi*, (3 (57)). [https://doi.org/10.52058/2708-7530-2025-3\(57\)-1393-1405](https://doi.org/10.52058/2708-7530-2025-3(57)-1393-1405) [in Ukrainian].