

## ТЕРАПІЯ ТА РЕАБІЛІТАЦІЯ

УДК 616-036.82/.85:004:616-073

DOI <https://doi.org/10.32782/health-2026.1.24>

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

### ПРЕЦИЗІЙНА РЕАБІЛІТАЦІЯ: СИНЕРГІЯ ІННОВАЦІЙНИХ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ

**Басенко Людмила Ігорівна,**

доктор філософії,

старший викладач кафедри фізичної терапії, ерготерапії

Хмельницького національного університету

ORCID: 0000-0002-3892-3797

**Солтик Інна Тадеушівна,**

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри фізичної терапії, ерготерапії

Хмельницького національного університету

ORCID: 0000-0002-3696-0201

На основі системного аналізу сучасних наукових публікацій у статті розглянуто концепцію прецизійної реабілітації, що ґрунтується на інтеграції інноваційних цифрових технологій та інструментальних методів діагностики в процесі відновлення функціонального стану пацієнтів. Особливу увагу приділено використанню віртуальної реальності, технологій (wearable devices), систем штучного інтелекту та телереабілітаційних платформ в поєднанні з сучасними інструментальними методами оцінювання, зокрема функціональною ближньою інфрачервоною спектроскопією (fNIRS) та системами аналізу ходи. Проаналізовано результати клінічних досліджень, що підтверджують ефективність інтеграції моніторингових систем безпосередньо в процес реабілітаційних втручань для пацієнтів із когнітивними розладами, помірними когнітивними порушеннями (MCI) та наслідками складних травм. Показано, що використання об'єктивних функціональних та біометричних даних в режимі реального часу сприяє персоналізації реабілітаційних програм, оптимізації терапевтичних втручань та підвищенню нейронної ефективності. Визначено перспективи розвитку телереабілітації та технологій штучного інтелекту як інструментів неперервного моніторингу стану пацієнтів, підтримки клінічного прийняття рішень та підвищення доступності реабілітаційних втручань. Отримані дані свідчать про те, що інтеграція цифрових технологій з інструментальною діагностикою сприяє формуванню нової парадигми персоналізованої та доказової реабілітації, спрямованої на поліпшення результатів втручання та якості життя пацієнтів. Крім того, впровадження таких технологій сприяє більш об'єктивній оцінці прогресу в реабілітації та підтримує прийняття клінічних рішень на основі даних. Результати дослідження підкреслюють важливість подальших міждисциплінарних досліджень, спрямованих на розробку стандартизованих протоколів інтеграції цифрових технологій у клінічну реабілітаційну практику.

**Ключові слова:** прецизійна реабілітація, цифрові технології, віртуальна реальність, телереабілітація, носимі пристрої, когнітивні порушення, інструментальна діагностика, штучний інтелект.

#### **Liudmyla Basenko, Inna Solytk. Precision rehabilitation: synergy between innovative digital technologies and instrumental diagnostic methods**

Based on a systematic analysis of contemporary scientific publications, the article examines the concept of precision rehabilitation as one of the promising directions in the development of modern rehabilitation medicine. The study focuses on the integration of innovative digital technologies and instrumental diagnostic methods in the process of restoring patients' functional status. Particular attention is paid to the use of virtual reality systems, wearable technologies, artificial intelligence algorithms, and telerehabilitation platforms in combination with advanced objective assessment tools, including functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) and gait analysis systems. The paper summarizes the results of recent clinical studies demonstrating the effectiveness of integrating monitoring technologies directly into the rehabilitation process for patients with cognitive impairments, mild cognitive impairment (MCI), and consequences of complex traumatic injuries. It is shown that the use of objective functional and biometric data obtained in real time creates new opportunities for the personalization of rehabilitation programs, optimization of therapeutic interventions, and improvement of neural efficiency. Such approaches allow clinicians to adjust training intensity and rehabilitation strategies according to the individual functional state of each patient. Special attention is also given to the potential of telerehabilitation technologies and artificial intelligence systems as tools for continuous remote monitoring, clinical

*decision support, and improvement of accessibility to rehabilitation services. The findings indicate that the integration of digital technologies with instrumental diagnostics contributes to the development of a new paradigm of personalized and evidence-based rehabilitation aimed at improving patient outcomes and quality of life. In addition, the implementation of such technologies facilitates a more objective evaluation of rehabilitation progress and supports data-driven clinical decision-making. The results of the study highlight the importance of further interdisciplinary research aimed at developing standardized protocols for the integration of digital technologies into clinical rehabilitation practice.*

**Key words:** *precision rehabilitation, digital technologies, virtual reality, telerehabilitation, wearable devices, cognitive impairments, instrumental diagnostics, artificial intelligence.*

**Вступ.** Сучасна реабілітація перебуває на етапі суттєвої трансформації, що характеризується переходом від використання стандартизованих протоколів лікування до впровадження принципів прецизійної реабілітації. Такий підхід передбачає персоналізацію реабілітаційних втручань на основі індивідуальних характеристик пацієнта, функціонального стану його організму та об'єктивних показників, отриманих у процесі діагностичного та терапевтичного моніторингу. Основною проблемою традиційних моделей відновлення є їх значна залежність від періодичних клінічних оцінок та суб'єктивних спостережень фахівця, що обмежує можливості своєчасного коригування терапевтичного навантаження та оптимізації реабілітаційних програм.

Водночас сучасні демографічні тенденції, зокрема глобальне старіння населення, зростання поширеності хронічних захворювань, нейродегенеративних станів та посттравматичних порушень, зумовлюють збільшення кількості осіб із помірними когнітивними порушеннями (МСІ), когнітивними розладами та різними формами функціональної обмеженості. У зв'язку з цим виникає потреба у розробці нових підходів до реабілітації, що ґрунтуються на використанні цифрових технологій, інструментальних методів діагностики та систем неперервного моніторингу функціонального стану.

Особливого значення набуває інтеграція інноваційних технологічних рішень, таких як системи віртуальної реальності, носимі сенсорні пристрої (wearable technology), системи аналізу рухів та ходи, методи нейровізуалізації, а також алгоритми штучного інтелекту, які здатні забезпечувати збір, обробку та аналіз великого об'єму біомедичних даних в режимі реального часу. Використання таких технологій створює передумови для переходу від епізодичного клінічного оцінювання до неперервного моніторингу функціональних змін, що відбуваються під час процесу реабілітації.

Зв'язок означеної проблеми з актуальними науковими та практичними завданнями полягає у необхідності створення інтегрованих реабілітаційно-діагностичних систем, в межах яких діагностика перестає бути окремим етапом клініч-

ного обстеження та стає невід'ємною складовою самого процесу терапії. Такий підхід дозволяє реалізувати принцип біологічного зворотного зв'язку та адаптивного управління реабілітаційними втручаннями на основі об'єктивних даних, отриманих безпосередньо під час виконання терапевтичного втручання [1].

Запровадження подібних технологій відкриває нові можливості для підвищення ефективності відновлення моторних та когнітивних функцій, стимулювання нейропластичності мозку та оптимізації індивідуальних програм реабілітації. Водночас це вимагає подальших наукових досліджень, спрямованих на розробку стандартизованих протоколів використання цифрових технологій, удосконалення методів об'єктивної оцінки результатів реабілітації та інтеграцію новітніх технологічних рішень у практику сучасної реабілітації.

**Метою дослідження** є наукове обґрунтування концепції прецизійної реабілітації як сучасного підходу до відновлення функціонального стану пацієнтів, що базується на інтеграції інноваційних цифрових технологій із інструментальними методами діагностики в режимі реального часу. Такий підхід спрямований на забезпечення персоналізації реабілітаційних втручань, підвищення точності оцінювання функціональних змін та оптимізацію терапевтичного навантаження відповідно до індивідуальних особливостей пацієнта.

В межах дослідження здійснено аналіз сучасних наукових публікацій щодо використання віртуальної реальності, технологій, телереабілітаційних платформ та систем штучного інтелекту в реабілітаційній практиці. Особливу увагу приділено ролі інструментальних методів діагностики, зокрема функціональної ближньої інфрачервоної спектроскопії (fNIRS) та систем аналізу ходи, які забезпечують отримання об'єктивних кількісних показників функціонального стану пацієнтів під час виконання реабілітаційних завдань. Окремим завданням дослідження є визначення можливостей інтеграції моніторингових систем безпосередньо у процес реабілітаційних втручань з метою забезпечення неперервного збору та аналізу біомедичних

даних. Такий підхід дозволяє реалізувати принцип зворотного зв'язку в реальному часі, що сприяє адаптивному коригуванню інтенсивності терапії, підвищенню ефективності відновлення моторних і когнітивних функцій та стимуляції нейропластичності.

Крім того, у статті розглянуто перспективи використання телереабілітації та алгоритмів штучного інтелекту як інструментів дистанційного моніторингу стану пацієнтів, аналізу великих масивів клінічних даних та підтримки клінічного прийняття рішень. Очікується, що поєднання цифрових технологій, інструментальної діагностики та інтелектуальних аналітичних систем сприятиме формуванню нової парадигми персоналізованої, доказової та технологічно підтриманої реабілітації.

**Методи дослідження.** У процесі дослідження використано методи аналізу та синтезу сучасних джерел інформації.

**Результати дослідження.** Аналіз наукових публікацій свідчить про стрімкий розвиток цифрових технологій у сфері медичної та реабілітаційної допомоги, що зумовлює формування нових підходів до відновлення функціонального стану пацієнтів. У науковій літературі можна виокремити три основні технологічні напрямки, які активно інтегруються у практику сучасної реабілітації: використання систем віртуальної реальності (Virtual Reality), технологій (wearable devices) та спеціалізованого програмного забезпечення для моніторингу, аналізу та управління реабілітаційним процесом [2]. Застосування зазначених технологій сприяє підвищенню точності оцінювання функціональних змін, розширює можливості персоналізації реабілітаційних програм та забезпечує ефективні механізми контролю терапевтичного навантаження.

Протягом останніх років значну увагу дослідників привертає використання віртуальної реальності в поєднанні з моторно-когнітивними тренуваннями. Зокрема дослідження Kwan RYC та співавт. (2024), а також Liao YY та співавт. (2019; 2020) продемонстрували, що програми VR-тренувань, зокрема моторно-когнітивні тренування у віртуальному середовищі (Virtual Reality-based Motor-Cognitive Training, VRMCT), можуть суттєво покращувати глобальні когнітивні функції, виконавчі функції та фізичний стан осіб із помірними когнітивними порушеннями. Автори зазначають, що інтеграція когнітивних завдань із руховою активністю у віртуальному середовищі сприяє активації нейропластичних механізмів,

що позитивно впливає на функціональне відновлення пацієнтів [3;4; 5].

Важливим напрямом сучасних досліджень є застосування інструментальних методів об'єктивної оцінки функціонального стану пацієнтів у процесі реабілітації. Використання систем аналізу ходи (наприклад, GAIT Up) та методів нейровізуалізації (NIRS) дозволяє отримати кількісні показники прогресу пацієнта.

Окреме місце у сучасних дослідженнях займають методи нейровізуалізації, зокрема функціональна близька інфрачервона спектроскопія (functional Near-Infrared Spectroscopy, fNIRS), які дозволяють оцінювати зміни церебральної активності під час виконання моторних та когнітивних завдань. Використання таких методів сприяє виявленню нейрофізіологічних механізмів відновлення та дозволяє об'єктивно оцінювати ефективність реабілітаційних втручань. Результати досліджень свідчать, що застосування цифрових тренувальних середовищ у поєднанні з нейровізуалізаційними методами дозволяє аналізувати рівень залучення різних відділів головного мозку та оцінювати зміни нейронної ефективності в процесі реабілітації [4; 5].

Протягом останніх років телереабілітація стала одним із ключових напрямків розвитку цифрової медицини, що забезпечує можливість дистанційного надання реабілітаційної допомоги, моніторингу функціонального стану пацієнтів та підтримки неперервності терапевтичного процесу. Систематичні огляди сучасних досліджень свідчать, що телереабілітація є ефективною альтернативою або доповненням до традиційних форм реабілітації, оскільки сприяє підвищенню доступності медичних послуг, зменшенню витрат на лікування та покращенню функціональних результатів відновлення пацієнтів [6; 7; 8].

Важливим етапом еволюції телереабілітаційних систем є інтеграція алгоритмів штучного інтелекту та методів машинного навчання. Систематичний огляд Sumner та співавт. (2023) демонструє, що технології штучного інтелекту активно застосовуються у реабілітації для аналізу рухових патернів, прогнозування результатів втручання та ефективної автоматизованої оцінки [8; 9].

Інтеграція штучного інтелекту в телереабілітаційні платформи дозволяє створювати адаптивні системи підтримки клінічного прийняття рішень. Такі системи здатні автоматично аналізувати дані пацієнта, оцінювати динаміку функціонального відновлення та формувати рекомендації щодо корекції терапевтичного навантаження. Зокрема,

сучасні AI-орієнтовані системи телереабілітації використовують алгоритми машинного навчання та аналітику великих даних для персоналізації реабілітаційних програм, моніторингу прогресу пацієнтів та автоматичного коригування параметрів терапевтичних занять.

Крім того, результати систематичних оглядів свідчать, що поєднання телереабілітації з технологіями штучного інтелекту створює передумови для реалізації концепції неперервного дистанційного моніторингу стану пацієнтів. Зокрема, використання сенсорних систем, мобільних додатків та пристроїв дозволяє відстежувати параметри рухової активності, фізіологічні показники та поведінкові характеристики пацієнтів у режимі реального часу, що значно підвищує ефективність контролю за виконанням реабілітаційних програм.

Разом з тим результати досліджень свідчать, що інтеграція штучного інтелекту в систему телереабілітації сприяє підвищенню прихильності пацієнтів до реабілітаційних програм. ШІ-орієнтовані цифрові платформи можуть використовувати автоматизовані нагадування, персоналізовані рекомендації та системи зворотного зв'язку для підтримки мотивації пацієнтів та контролю виконання терапевтичних вправ у домашніх умовах [8; 9].

Незважаючи на значну кількість наукових доказів щодо ефективності окремих цифрових технологій, у сучасній літературі недостатньо висвітлено питання їх комплексної інтеграції в єдину реабілітаційно-діагностичну систему. Більшість досліджень зосереджена на аналізі окремих технологій, тоді як потенціал їх синергетичного поєднання для формування прецизійної реабілітації залишається недостатньо залишається недостатньо дослідженим і потребує подальшого наукового обґрунтування та експеризи.

*Інтеграція інструментального аналізу ходи в VR-середовище.* Одним із найбільш яскравих прикладів прецизійної реабілітації є використання систем аналізу рухів безпосередньо під час виконання завдань у віртуальній реальності. У дослідженнях Liao YY та співавт. (2019; 2020) було застосовано систему GAIT Ur для оцінки параметрів ходи (швидкість, довжина кроку, каденс) під час VR-тренувань [4; 5]. Замість того, щоб оцінювати ходу лише в кабінеті терапевта, фахівці отримують дані про те, як когнітивне навантаження у віртуальному світі (наприклад, "робота кухарем" або "покупки в магазині") впливає на фізичну стабільність пацієнта. Було доведено,

що VR-тренування значно покращують параметри ходи саме в умовах подвійних завдань (dual-tasking), що є прямим наслідком точного налаштування складності терапевтичних вправ на основі отриманих діагностичних даних [10].

*Моніторинг нейронної ефективності за допомогою NIRS.* Прецизійний підхід передбачає розуміння нейрофізіологічних змін. Використання функціональної ближньої інфрачервоної спектроскопії (NIRS) під час реабілітаційних сесій дозволяє фіксувати активацію префронтальної кори мозку пацієнта. Дані NIRS виявили зниження активації префронтальних зон після 12-тижневого курсу VR-тренувань при одночасному покращенні результатів когнітивних тестів [5]. Це свідчить про підвищення нейронної ефективності – здатності мозку виконувати складні завдання з меншими енерговитратами. Такий моніторинг у реальному часі дозволяє фахівцям об'єктивно підтверджувати прогрес навіть тоді, коли видимі клінічні зміни ще мінімальні [5].

*Технології, які можна носити (Wearables), як інструменти безперервного функціонального моніторингу.* Пристрої, що носяться, трансформують реабілітацію в безперервний процес. Акселерометри, інерціальні одиниці вимірювання та "розумний одяг" (наприклад, розумні рукавички) виконують роль портативних діагностичних лабораторій. Системи моніторингу дозволяють ідентифікувати ризики падіння у людей похилого віку та виявляти критичні події в реальному часі [11]. Отримані об'єктивні дані про фізичну активність у повсякденному житті дозволяють персоналізувати плани терапії, наприклад, після ортопедо-травматологічних операцій або при ампутаціях. Це дозволяє перейти від "середньостатистичного" навантаження до "індивідуально-оптимального" [12].

*Штучний інтелект як інтегратор діагностичних даних/* Ключовим елементом прецизійної реабілітації є штучний інтелект (ШІ), який виступає сполучною ланкою між інструментальною діагностикою та прийняттям терапевтичних рішень. Штучний інтелект аналізує великі масиви даних, що надходять від VR-систем та датчиків, знаходячи закономірності, непомітні для людського ока. Це полегшує постановку точного діагнозу, надання рекомендацій щодо зміни інтенсивності занять та прогнозування довгострокових результатів реабілітації [8; 9].

*Телереабілітація та дистанційний діагностичний контроль.* Інтеграція цифрових методів дозволяє надавати високотехнологічну допомогу

пацієнтам удома, зберігаючи високу точність діагностики. Доведено, що такий підхід не поступається очній терапії за результатами відновлення функцій рук та рівноваги. Фахівець отримує можливість оцінювати потреби людини в її природному середовищі, що підвищує екологічну валідність втручання [13; 14].

Для того, щоб забезпечити глибше розуміння концепції прецизійної реабілітації, необхідно розглянути синергію між конкретними технологічними рішеннями та діагностичними інструментами, які дозволяють отримувати об'єктивні дані в реальному часі. Нижче (табл. 1) наведено огляд інтеграції моніторингових систем безпосередньо в процес занять. Це дозволяє перейти від стандартизованих терапевтичних вправ до персоналізованого втручання, що базується на точних вимірюваннях функцій пацієнта.

Дослідження підтверджують, що поєднання когнітивних та моторних навантажень (dual-task) у віртуальному середовищі дає кращі результати, ніж традиційні методи. Використання VR-моторно-когнітивних тренувань (VRMCT) статистично значущо покращує глобальну когнітивну функцію та зменшує рівень фізичної слабкості [5]. Об'єктивні дані fNIRS показали зниження гемодинамічної відповіді у префронтальній корі після занять, що свідчить про те, що мозок пацієнта став працювати ефективніше.

Лише VR-групи демонстрували покращення ходи під час виконання когнітивних завдань, що є критичним для профілактики падінь [5]. Впровадження цих систем має як значні переваги для пацієнта, так і певні технічні бар'єри, які потребують вирішення (табл. 2).

Таблиця 1

### Інтеграція інновацій та діагностичних методів

Технологія	Діагностичний інструмент / показник	Сфера застосування та ефект
Віртуальна реальність (VR)	fNIRS (нейровізуалізація)	Вимірювання активації префронтальної кори; визначення нейронної ефективності.
Системи аналізу ходи (напр., GAIT Up)	Кінематичні параметри	Оцінка швидкості, довжини кроку та каденсу під час виконання подвійних завдань.
Технології, що можна носити (Wearables)	Акселерометри, інерціальні датчики	Постійний моніторинг активності, прогнозування падінь та виявлення критичних подій.
Телереабілітація	Дистанційний моніторинг життєвих показників	Забезпечення безперервності догляду та оцінка потреб пацієнта в домашніх умовах.
Штучний інтелект (ШІ)	Алгоритми аналізу закономірностей	Обробка великих масивів даних для прийняття рішень та постановки діагнозу.

Таблиця 2

### Аналіз переваг та проблемних питань

Категорія	Переваги	Виклики та обмеження
Для пацієнта	Підвищення мотивації через гейміфікацію; можливість займатися вдома.	Ризик «морської хвороби» у VR; потреба у цифровій грамотності.
Для фахівця	Об'єктивізація прогресу (зменшення похибки вимірювання); точне налаштування терапії.	Висока вартість обладнання; потреба у спеціальному навчанні персоналу.
Системні аспекти	Зменшення бар'єрів середовища; економія часу та логістичних витрат.	Питання конфіденційності та безпеки даних; відсутність стандартизованих протоколів.

**Висновки.** Результати проведеного аналізу наукових джерел свідчать, що формування систем прецизійної реабілітації на основі об'єктивних даних, отриманих в режимі реального часу, є одним із найперспективніших напрямів розвитку сучасної реабілітаційної медицини. Поєднання інноваційних цифрових технологій, зокрема систем віртуальної реальності та сенсорних пристроїв, що носяться, з інструментальними методами функціональної діагностики (fNIRS, системи аналізу

ходи) забезпечує можливість більш точного оцінювання функціонального стану пацієнтів та підвищує ефективність відновлення порівняно з традиційними підходами до реабілітації.

Інтеграція моніторингових систем безпосередньо в процес виконання терапевтичних вправ дозволяє реалізувати модель неперервного функціонального моніторингу, за якою терапевтична сесія одночасно виступає інструментом діагностичної оцінки. Такий підхід забезпечує можли-

вість оперативного коригування інтенсивності та структури навантаження відповідно до індивідуальних особливостей пацієнта, що є особливо важливим для осіб із когнітивними порушеннями та складними травмами.

Застосування технологій штучного інтелекту створює додаткові можливості для інтеграції та аналізу великих масивів біомедичних даних, отриманих із різних діагностичних систем. Це дозволяє формувати персоналізовані стратегії реабілітаційних втручань, підвищувати точність клінічного прогнозування та оптимізувати процес.

Водночас подальший розвиток концепції прецизійної реабілітації потребує вирішення низки наукових та організаційних завдань. Зокрема, актуальними напрямками подальших досліджень

є розробка стандартизованих доказових протоколів комбінованого використання цифрових технологій, вивчення потенціалу доповненої реальності у стимуляції нейропластичних процесів та профілактики падінь, а також дослідження етичних аспектів та питань захисту персональних даних при застосуванні систем неперервного моніторингу та алгоритмів штучного інтелекту.

Таким чином, інтеграція цифрових технологій, інструментальної діагностики та інтелектуальних аналітичних систем створює передумови для формування нової парадигми персоналізованої та доказової реабілітації, що сприятиме підвищенню ефективності реабілітаційних втручань, покращенню якості життя пацієнтів та оптимізації функціонування системи охорони здоров'я.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Buele J., Avilés-Castillo F., Del-Valle-Soto C., Varela-Aldás J., Palacios-Navarro G. Effects of combined motor and virtual reality-based cognitive intervention on cognition in patients with mild cognitive impairment // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2024. Vol. 21, No. 1. Article 130. DOI: 10.1186/s12984-024-01443-5.
2. Neal D., van den Berg F., Planting C., Ettema T., Dijkstra K., Finnema E., Dröes R. M. Can use of digital technologies by people with dementia improve self-management and social participation? A systematic review of effect studies // *Journal of Clinical Medicine*. 2021. Vol. 10, No. 4. Article 604. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm10040604>.
3. Kwan R. Y. C., Liu J., Sin O. S. K., Fong K. N. K., Qin J., Wong J. C. Y., Lai C. Effects of virtual reality motor-cognitive training for older people with cognitive frailty: multicentered randomized controlled trial // *Journal of Medical Internet Research*. 2024. Vol. 26. Article e57809. DOI: <https://doi.org/10.2196/57809>.
4. Liao Y. Y., Chen I. H., Lin Y. J., Chen Y., Hsu W. C. Effects of virtual reality-based physical and cognitive training on executive function and dual-task gait performance in older adults with mild cognitive impairment: a randomized control trial // *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2019. Vol. 11. Article 162. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnagi.2019.00162>.
5. Liao Y. Y., Tseng H. Y., Lin Y. J., Wang C. J., Hsu W. C. Using virtual reality-based training to improve cognitive function, instrumental activities of daily living and neural efficiency in older adults with mild cognitive impairment // *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2020. Vol. 56, No. 1. P. 47–57. DOI: <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.19.05899-4>.
6. Calabrò R. S., Mojdehdehbaher S. AI-driven telerehabilitation: benefits and challenges of a transformative healthcare approach // *AI*. 2025. Vol. 6. P. 62. DOI: <https://doi.org/10.3390/ai6030062>.
7. Nicolas B., Leblong E., Fraudet B., Gallien P., Piette P. Telerehabilitation solutions in patient pathways: an overview of systematic reviews // *Digital Health*. 2024. Vol. 10. DOI: <https://doi.org/10.1177/20552076241294110>.
8. Rafi S. Artificial intelligence and telemedicine in elderly healthcare: a mixed-methods study // *BMC Geriatrics*. 2025. Vol. 26, No. 1. P. 71. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12877-025-06872-y>.
9. Sumner J., Lim H. W., Chong L. S., Bundele A., Mukhopadhyay A., Kayambu G. Artificial intelligence in physical rehabilitation: a systematic review // *Artificial Intelligence in Medicine*. 2023. Vol. 146. Article 102693. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102693>.
10. Buele J., Varela-Aldás J. L., Palacios-Navarro G. Virtual reality applications based on instrumental activities of daily living (iADLs) for cognitive intervention in older adults: a systematic review // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2023. Vol. 20, No. 1. P. 168. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01292-8>.
11. Chen M., Wang H., Yu L., Yeung E. H. K., Luo J., Tsui K.-L., Zhao Y. A systematic review of wearable sensor-based technologies for fall risk assessment in older adults // *Sensors*. 2022. Vol. 22, No. 18. Article 6752. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22186752>.
12. Patel S., Park H., Bonato P. et al. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2012. Vol. 9. P. 21. DOI: <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-21>.
13. Webster J., Young P., Kiecker J. Telerehabilitation for amputee care // *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. 2021. Vol. 32, No. 2. P. 253–262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2020.12.002>.
14. Scholten J., Poorman C., Culver L., Webster J. B. Department of Veterans Affairs polytrauma telerehabilitation: twenty-first century care // *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. 2019. Vol. 30, No. 1. P. 207–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2018.08.003>.

## REFERENCES

1. Buele, J., Avilés-Castillo, F., Del-Valle-Soto, C., Varela-Aldás, J., & Palacios-Navarro, G. (2024). Effects of combined motor and virtual reality-based cognitive intervention on cognition in patients with mild cognitive impairment. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 21(1), Article 130. <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01443-5>
2. Neal, D., van den Berg, F., Planting, C., Ettema, T., Dijkstra, K., Finnema, E., & Dröes, R. M. (2021). Can use of digital technologies by people with dementia improve self-management and social participation? A systematic review of effect studies. *Journal of Clinical Medicine*, 10(4), Article 604. <https://doi.org/10.3390/jcm10040604>
3. Kwan, R. Y. C., Liu, J., Sin, O. S. K., Fong, K. N. K., Qin, J., Wong, J. C. Y., & Lai, C. (2024). Effects of virtual reality motor-cognitive training for older people with cognitive frailty: Multicentered randomized controlled trial. *Journal of Medical Internet Research*, 26, e57809. <https://doi.org/10.2196/57809>
4. Liao, Y. Y., Chen, I. H., Lin, Y. J., Chen, Y., & Hsu, W. C. (2019). Effects of virtual reality-based physical and cognitive training on executive function and dual-task gait performance in older adults with mild cognitive impairment: A randomized control trial. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 11, 162. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2019.00162>
5. Liao, Y. Y., Tseng, H. Y., Lin, Y. J., Wang, C. J., & Hsu, W. C. (2020). Using virtual reality-based training to improve cognitive function, instrumental activities of daily living, and neural efficiency in older adults with mild cognitive impairment. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56(1), 47–57. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.19.05899-4>
6. Calabrò, R. S., & Mojdehdehbaheer, S. (2025). AI-driven telerehabilitation: Benefits and challenges of a transformative healthcare approach. *AI*, 6, 62. <https://doi.org/10.3390/ai6030062>
7. Nicolas, B., Leblong, E., Fraudet, B., Gallien, P., & Piette, P. (2024). Telerehabilitation solutions in patient pathways: An overview of systematic reviews. *Digital Health*, 10. <https://doi.org/10.1177/20552076241294110>
8. Rafi, S. (2025). Artificial intelligence and telemedicine in elderly healthcare: A mixed-methods study. *BMC Geriatrics*, 26(1), 71. <https://doi.org/10.1186/s12877-025-06872-y>
9. Sumner, J., Lim, H. W., Chong, L. S., Bundeale, A., Mukhopadhyay, A., & Kayambu, G. (2023). Artificial intelligence in physical rehabilitation: A systematic review. *Artificial Intelligence in Medicine*, 146, 102693. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102693>
10. Buele, J., Varela-Aldás, J. L., & Palacios-Navarro, G. (2023). Virtual reality applications based on instrumental activities of daily living (iADLs) for cognitive intervention in older adults: A systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 20(1), 168. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01292-8>
11. Chen, M., Wang, H., Yu, L., Yeung, E. H. K., Luo, J., Tsui, K.-L., & Zhao, Y. (2022). A systematic review of wearable sensor-based technologies for fall risk assessment in older adults. *Sensors*, 22(18), 6752. <https://doi.org/10.3390/s22186752>
12. Patel, S., Park, H., Bonato, P., et al. (2012). A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9, 21. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-21>
13. Webster, J., Young, P., & Kiecker, J. (2021). Telerehabilitation for amputee care. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 32(2), 253–262. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2020.12.002>
14. Scholten, J., Poorman, C., Culver, L., & Webster, J. B. (2019). Department of Veterans Affairs polytrauma telerehabilitation: Twenty-first century care. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 30(1), 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2018.08.003>

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 08.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026