

**Вишемірська Я.С.**

<https://orcid.org/0009-0003-1036-3542>

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Шитіков Т.О.**

<https://orcid.org/0000-0002-2186-4452>

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Вишемірський Є.Д.**

<https://orcid.org/0009-0003-3424-9306>

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОЇ МЕДИЦИНИ (МОБІЛЬНІ ЗАСТОСУНКИ ТА ПРИСТРОЇ ПЕРСОНАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ У ФІЗИЧНІЙ РЕАБІЛІТАЦІЇ)

У статті розглянуто інформаційні технології як інструмент цифрової медицини у фізичній реабілітації на основі поєднання мобільних медичних застосунків і пристроїв персонального моніторингу. Актуальність теми зумовлена стрімким зростанням обсягів цифрових медичних даних і розширенням практик дистанційного супроводу пацієнтів, коли збір об'єктивних показників здійснюється без постійної присутності фізичного терапевта, а аналіз даних дає змогу оперативно коригувати програму відновлення. У роботі узагальнено сучасні підходи до використання mHealth-рішень у реабілітаційному процесі та висвітлено практичні можливості фотограмметричного аналізу постави на прикладі застосунку *Aracs* як доступного інструменту оцінювання постуральних відхилень і візуалізації результатів для фахівця та пацієнта. Окрему увагу приділено пристроям персонального моніторингу (смарт-годинники, нагрудні сенсори), які забезпечують безперервний збір фізіологічних і рухових параметрів (ЧСС, HRV, SpO<sub>2</sub>, крокова активність, характеристики ходьби) та їх подальшу обробку в аналітичних платформах. Практичну реалізацію підходу продемонстровано на клінічному прикладі реабілітації пацієнта похилого віку після ішемічного інсульту з використанням екосистеми *Garmin* (годинник *Garmin Forerunner 965* у поєднанні з датчиком *HRM-Pro Plus* і платформою *Garmin Connect*). Моніторинг у динаміці дозволив оцінювати реакцію організму на навантаження, фіксувати виходи за межі цільових зон та виконати корекцію програми (зміна тривалості, інтенсивності й структури сесій ходьби), що сприяло підвищенню толерантності до фізичної активності та зменшенню суб'єктивного рівня втоми. Зроблено висновок, що комплексне застосування мобільних застосунків і персональних сенсорних пристроїв формує підґрунтя для об'єктивізації реабілітаційних рішень, підвищення безпеки втручань і розвитку дистанційних моделей фізичної терапії. Перспективи подальших досліджень пов'язані зі стандартизацією інтерпретації цифрових показників, інтеграцією даних у національні eHealth-системи, розширенням доказової бази в клінічних групах та впровадженням цифрових інструментів у професійну підготовку майбутніх фахівців.

**Ключові слова:** цифрова медицина, фізична реабілітація, мобільні медичні застосунки, mHealth, фотограмметрія, аналіз постави, пристрої персонального моніторингу, смарт-годинник, варіабельність серцевого ритму, дистанційний моніторинг.

**Постановка проблеми.** Сучасний етап розвитку медицини та фізичної реабілітації характеризується стрімкою цифровізацією клінічної практики, що супроводжується суттєвим зростанням обсягів медичних даних. У процесі відновного лікування дедалі ширше застосовуються інформа-

ційні технології, здатні забезпечувати безперервний збір фізіологічних, функціональних і біомеханічних показників пацієнтів у режимі реального часу. До таких технологій належать мобільні медичні застосунки та пристрої персонального моніторингу, які дозволяють фіксувати рівень



фізичної активності, частоту серцевих скорочень, варіабельність серцевого ритму, насичення крові киснем, параметри руху та постануральні характеристики.

Активне впровадження зазначених цифрових інструментів зумовлене їх доступністю, можливістю тривалого використання поза межами медичних закладів та здатністю забезпечувати індивідуалізований підхід до реабілітації. Мобільні застосунки надають можливість проводити первинне функціональне оцінювання, здійснювати динамічний контроль змін та формувати візуалізовані аналітичні звіти. Пристрої персонального моніторингу, у свою чергу, дозволяють об'єктивно контролювати інтенсивність і безпеку фізичних навантажень без постійної присутності фізичного терапевта, що є особливо важливим для пацієнтів після інсульту, оперативних втручань або при наявності хронічних захворювань.

Принципово новим аспектом використання таких технологій є можливість дистанційної взаємодії між пацієнтом і фахівцем. Пацієнт отримує змогу виконувати реабілітаційну програму в домашніх або безпечних умовах, паралельно здійснюючи збір об'єктивних даних за допомогою персональних пристроїв. Фізичний терапевт, у свою чергу, може дистанційно моніторити динаміку показників, контролювати дотримання рекомендованого режиму навантажень та своєчасно коригувати програму реабілітації на основі аналізу отриманих цифрових даних. Такий підхід формує нову модель організації реабілітаційного процесу, орієнтовану на безперервність, індивідуалізацію та підвищення безпеки втручань.

Актуальність дистанційного використання мобільних застосунків і пристроїв персонального моніторингу суттєво зростає в умовах обмеженого доступу до реабілітаційних закладів, що спостерігається під час надзвичайних ситуацій, зокрема в періоди епідемій та в умовах воєнного стану. У таких обставинах традиційні підходи до реабілітації, засновані на застосуванні стаціонарного обладнання клінік і спеціалізованих залів, часто стають малодоступними або небезпечними для пацієнтів. Натомість персональні цифрові пристрої дозволяють забезпечити безперервність реабілітаційного процесу, мінімізувати кількість очних контактів та адаптувати програму відновлення до індивідуальних умов життя пацієнта.

Водночас масове впровадження інформаційних технологій у фізичну реабілітацію супроводжується низкою методологічних і практичних проблем. Однією з ключових є відсутність єдиних,

клінічно обґрунтованих підходів до використання мобільних застосунків і пристроїв персонального моніторингу в реабілітаційному процесі. У багатьох випадках цифрові інструменти застосовуються фрагментарно, без чіткого визначення їх ролі у структурі фізичної терапії, без стандартизованих критеріїв інтерпретації даних та без належної інтеграції результатів у процес прийняття клінічних рішень.

Суттєвою проблемою залишається також питання об'єктивності та клінічної значущості цифрових показників. Значні масиви даних, які генеруються мобільними застосунками і пристроями персонального моніторингу, потребують професійного аналізу, коректної інтерпретації та співставлення з результатами традиційного клінічного оцінювання. За відсутності науково обґрунтованих алгоритмів використання таких даних існує ризик як їх недооцінки, так і надмірної довіри до цифрових показників без урахування клінічного контексту.

Таким чином, актуальною науково-практичною проблемою є обґрунтування можливостей і умов використання інформаційних технологій у фізичній реабілітації, зокрема мобільних застосунків і пристроїв персонального моніторингу, як інструментів цифрової медицини. Це потребує визначення їх ролі у зборі, аналізі та інтерпретації медичних даних, а також у формуванні об'єктивної основи для планування, дистанційного контролю та корекції реабілітаційних програм.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Упродовж останніх років у наукових дослідженнях спостерігається зростання інтересу до використання інформаційних технологій у медицині, зокрема у сфері фізичної реабілітації. Значна кількість робіт присвячена застосуванню пристроїв персонального моніторингу, так званих *wearable technologies*, для контролю фізіологічних показників під час реабілітаційних втручань [1]. У цих дослідженнях доведено доцільність використання пульсометрів, смарт-годинників і сенсорів руху для оцінювання інтенсивності фізичного навантаження, толерантності до вправ і безпеки реабілітаційних програм, зокрема у пацієнтів після інсульту та в кардіореабілітації [2].

Окрему групу становлять дослідження, спрямовані на аналіз ефективності безперервного моніторингу частоти серцевих скорочень, варіабельності серцевого ритму та рівня фізичної активності у відновному періоді. У цих роботах підкреслюється, що використання персональ-

них сенсорних пристроїв дозволяє отримувати об'єктивні дані поза межами клініки, а також сприяє індивідуалізації реабілітаційних програм [3]. Разом із тим більшість таких досліджень зосереджена переважно на аналізі окремих показників або конкретних клінічних груп, без розгляду комплексної інтеграції цифрових даних у щоденну практику фізичного терапевта [4].

Паралельно активно розвивається напрям mobile health applications (mHealth), у межах якого вивчаються можливості мобільних застосунків для діагностики, моніторингу та підтримки пацієнтів у процесі реабілітації. У наукових публікаціях відзначається, що мобільні застосунки можуть виконувати функції первинного оцінювання функціонального стану, забезпечувати контроль динаміки відновлення та підвищувати залученість пацієнтів до реабілітаційного процесу [5]. Значна увага приділяється також освітньому та мотиваційному потенціалу таких застосунків, особливо у форматі домашньої реабілітації.

Важливе місце серед mHealth-рішень займають дослідження, присвячені фотограмметричним методам аналізу постави. У цих роботах обґрунтовується можливість використання цифрових зображень та спеціалізованого програмного забезпечення для оцінювання симетрії тіла, куткових відхилень і постуральних порушень [6]. Автори відзначають, що фотограмметричні методи дозволяють проводити об'єктивну та відтворювану оцінку постави без застосування складного дорогого обладнання, що робить їх перспективними для клінічної та амбулаторної практики.

Окремі дослідження зосереджені на впровадженні мобільних застосунків для аналізу постави у практику фізичних терапевтів, ортопедів та у процес підготовки майбутніх фахівців [7]. У цих публікаціях підкреслюється, що використання цифрових інструментів сприяє підвищенню об'єктивності оцінювання, полегшує документування результатів та забезпечує наочність динаміки змін для пацієнтів. Разом із тим зазначається, що точність результатів значною мірою залежить від умов застосування, правильності зйомки та підготовки користувачів [8].

Власні напрацювання авторів також відповідають зазначеним науковим напрямкам. У тезах, опублікованих у збірнику V міжнародної науково-практичної конференції «Біобезпека та сучасні реабілітаційні технології. Теорія, практика, перспективи», розглянуто можливості аналізу даних із пульсометрів та пристроїв для моніторингу фізичної активності у реабілітації,

з акцентом на об'єктивний контроль навантажень і динаміку функціонального стану пацієнтів [9]. У матеріалах XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та автоматизація – 2025» проаналізовано використання мобільних застосунків у фізичній реабілітації, зокрема їх діагностичний і практичний потенціал [10].

Разом з тим, попри наявність значної кількості досліджень, питання комплексного використання мобільних застосунків і пристроїв персонального моніторингу в єдиному реабілітаційному процесі залишається недостатньо висвітленим, що й зумовлює актуальність даного дослідження.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є визначення можливостей застосування інформаційних технологій у фізичній реабілітації як інструментів цифрової медицини. У межах дослідження передбачається проаналізувати функціональні можливості мобільних медичних застосунків і обґрунтувати доцільність використання пристроїв персонального моніторингу для дистанційного контролю та корекції реабілітаційних програм. Окрему увагу приділено практичній реалізації зазначених підходів на прикладі клінічного випадку з використанням цифрових даних у процесі фізичної терапії.

**Виклад основного матеріалу.** У цьому розділі представлено практичні аспекти застосування інформаційних технологій у фізичній реабілітації як інструментів цифрової медицини. Основну увагу зосереджено на використанні мобільних медичних застосунків і пристроїв персонального моніторингу, які доповнюють традиційні методи фізичної терапії та забезпечують можливість об'єктивного збору й аналізу даних у реальних умовах життєдіяльності пацієнтів. Послідовно розглянуто функціональні можливості цифрових інструментів для оцінювання стану опорно-рухового апарату, моніторингу фізіологічних показників і дистанційного контролю реабілітаційного процесу. Практичну реалізацію запропонованих підходів продемонстровано на прикладі клінічного випадку з використанням аналітичних даних для корекції індивідуальної програми фізичної реабілітації.

Мобільні застосунки у фізичній реабілітації можуть виконувати низку важливих функцій: від діагностики й оцінювання стану пацієнта до надання доступу до індивідуальних комплексів вправ та відстеження динаміки відновлення [7]. Прикладом є застосунок Arres, який дозволяє проводити фотограмметричний аналіз постави та

формувати об'єктивні звіти для подальшого використання у клінічній практиці. Його можливості сприяють виявленню асиметрій і відхилень, що є важливою складовою розробки персоналізованих програм реабілітації.

Таким чином, постає завдання дослідити можливості застосування мобільних технологій, зокрема спеціалізованих програм на зразок Aracs, у процесі фізичної реабілітації пацієнтів. Необхідно визначити їх переваги та обмеження, проаналізувати ефективність використання у порівнянні з традиційними методами та окреслити перспективи інтеграції у національну систему охорони здоров'я.

На сьогодні існує велика кількість мобільних застосунків, спрямованих на діагностику постави та контроль стану опорно-рухового апарату [7]. У ході дослідження було здійснено їх порівняльний аналіз із метою визначення функціональних можливостей, переваг та обмежень. Результати цього аналізу представлено в таблиці 1.

Порівняльний аналіз засвідчив, що серед доступних мобільних застосунків для оцінювання постави Aracs поєднує достатній рівень функціональності, зручність використання та придатність до практики фізичного терапевта.

У практичній роботі Aracs дозволяє ефективно поєднувати первинну діагностику з подальшим контролем результатів. Наприклад, після проведення початкового обстеження терапевт отримує аналітичний звіт, який можна використати для формування індивідуальної програми вправ [11]. Важливо, що такі дослідження дозволяють визначити патогенетично значущий регіон, з якого слід розпочинати корекцію, що підвищує ефективність усього реабілітаційного процесу. Надалі, повторюючи вимірювання через певні проміжки часу, фахівець може відстежувати динаміку змін та вносити корективи в реабілітаційний процес. Важливо, що звіти мають наочну візуальну форму: графіки, схеми та цифрові показники легко зрозумілі як фахівцю, так і пацієнту. Це підсилює мотивацію останнього до систематичних занять, адже він може на власні очі бачити поступові покращення.

Aracs застосовується для оцінювання та моніторингу постуральних порушень у практиці фізичної реабілітації.

Таким чином, Aracs можна розглядати як сучасний цифровий інструмент, що посідає важливе місце у практиці фізичної реабілітації, поєднуючи діагностичну функцію, освітній потенціал та мотиваційний ефект для пацієнтів.

Важливо зазначити, що використання мобільних цифрових засобів у сфері охорони здоров'я відповідає напрямам цифрової трансформації охорони здоров'я, що сприяє широкому впровадженню таких технологій у клінічну практику та реабілітацію пацієнтів [12].

Поряд із використанням мобільних застосунків для оцінювання постуральних і біомеханічних характеристик, важливим напрямом цифровізації фізичної реабілітації є застосування пристроїв персонального моніторингу, які забезпечують безперервний збір фізіологічних даних під час виконання реабілітаційних вправ. На відміну від фотограмметричних методів, що застосовуються переважно для статичної або контрольної оцінки, сенсорні пристрої дозволяють здійснювати динамічний моніторинг стану пацієнта в процесі рухової активності та в повсякденних умовах. Це розширює можливості фізичного терапевта щодо контролю інтенсивності навантажень, оцінювання реакції організму на вправи та своєчасної корекції реабілітаційної програми на основі об'єктивних цифрових показників.

Серед найбільш поширених пристроїв персонального моніторингу, що застосовуються для контролю фізичної активності та фізіологічних показників, виділяються продукти компаній Garmin, Polar, Apple, Wahoo та Xiaomi. Зазначені пристрої охоплюють широкий спектр користувачів – від професійних спортсменів до пацієнтів, які проходять етапи фізичної реабілітації.

Пристрої Garmin та Polar традиційно використовуються для точного моніторингу частоти серцевих скорочень, варіабельності серцевого ритму та параметрів рухової активності, що робить їх придатними для контролю інтенсивності фізичних навантажень у реабілітаційних програмах. Apple Watch поєднує функції смарт-годинника та медичного пристрою, забезпечуючи вимірювання ЧСС, SpO<sub>2</sub> та електрокардіографічні показники з подальшою інтеграцією даних у цифрові платформи. Пристрої Wahoo орієнтовані переважно на циклічні види активності та використовуються для високоточного аналізу рухових параметрів, тоді як фітнес-браслети Xiaomi забезпечують базовий моніторинг за доступної вартості.

Для фізичної реабілітації найбільшу практичну цінність мають пристрої, що дозволяють безперервно контролювати ЧСС, HRV, рівень фізичної активності та показники відновлення. Отримані дані можуть використовуватися для визначення безпечної інтенсивності навантажень, оцінювання реакції організму на фізичні вправи

## Порівняльна характеристика мобільних застосунків для оцінювання постави

Застосунок	Можливості	Переваги	Недоліки
PostureScreen Mobile	Фото- та відеоаналіз постави, створення звітів, інтеграція з електронними медичними картами	Широко використовується у світі; підтримує багатоплатформність; детальні звіти для пацієнтів	Платний; потребує якісних фото для точного аналізу
Arpсs	Фотограмметрична оцінка постави, автоматичне визначення відхилень, формування детальних звітів	Простий у використанні; дозволяє об'єктивно фіксувати динаміку; зручний для фізичних терапевтів	Менш поширений за світовими стандартами; вимагає правильних умов зйомки
Posture Screen: Spine Analysis (Health You Up)	Оцінка постави спини (хребта), шиї, плечей; фотографії з різних боків; звітність з порівнянням результатів; без реклами, без підписок у деяких версіях; можливість слідкувати за прогресом; PDF-звіт.	У деяких випадках більш доступно, проста у використанні, гарна опція для малого клінічного чи домашнього застосування, без зайвих оплат чи складних налаштувань.	Може не мати такої глибини аналізу як Arpсs або PostureScreen; якість аналізу залежить від фото якості; можливі обмеження в ручному редагуванні маркерів чи точок; функції можуть бути менш точні або не мати валідації.
PosePro: Postural Assessment	Одна фотографія збоку (side-view) для швидкої оцінки постави ("posture score"), можливі рекомендації щодо покращення, стретч-контент, простий інтерфейс.	Зручно і швидко, підходить для загального моніторингу чи самоконтролю. Легкий у використанні, не потребує великої підготовки.	Менше деталей в аналізі, менше функцій порівняно з Arpсs чи PostureScreen; можливо слабша точність, оскільки тільки бокова проекція. Не так багато ручних налаштувань або можливостей для професіоналів.
Kaia Health	Програми для лікування болю в спині та тренування правильної постави; персоналізовані вправи	Медичне схвалення в ЄС та США; адаптивні програми; підтримка пацієнтів у домашніх умовах	Орієнтований більше на вправи, ніж на детальну діагностику

та обґрунтованої корекції індивідуальних програм реабілітації.

Серед розглянутих брендів найбільшою популярністю у світі користуються Garmin та Apple Watch. Garmin цінують професійні спортсмени та тренери за високу точність показників і широкий вибір моделей для різних видів спорту. Apple Watch має величезну аудиторію серед аматорів завдяки поєднанню медичних функцій (вимірювання ЧСС, ЕКГ, SpO<sub>2</sub>) та зручності повсякденного використання.

Для фізичної реабілітації особливо корисними можуть стати такі пристрої:

- Пульсометри та смарт-годинники (Garmin, Polar, Apple Watch) – дозволяють контролювати інтенсивність навантаження, уникати перевантаження серцево-судинної системи та коригувати темп занять.

- Датчики каденсу та потужності (Wahoo, Garmin) – корисні у відновленні після травм опорно-рухового апарату, особливо для велосипедної та бігової реабілітації.

- Трекери сну та відновлення (Garmin, Polar, Apple Watch, Xiaomi) – допомагають оцінити баланс між навантаженням та відпочинком, що критично важливо під час реабілітаційних програм.

- Функція ЕКГ та SpO<sub>2</sub> (Apple Watch, Garmin, окремі моделі Polar) – дає можливість відслідкувати стан серцево-судинної та дихальної системи у пацієнтів після операцій або при хронічних захворюваннях [13].

Таким чином, для реабілітації найбільш перспективним є використання пристроїв із точними датчиками серцевої діяльності та можливістю збору комплексних даних, які потім можна інтегрувати у мобільні застосунки для аналізу та планування індивідуальної програми відновлення.

Пристрої Garmin синхронізуються з хмарною платформою Garmin Connect, яка є основним середовищем для збору, збереження та аналізу інформації. Після кожного тренування дані (ЧСС, варіабельність ритму, SpO<sub>2</sub>, швидкість, дистанція, каденс, показники відновлення) автоматично передаються в застосунок, де вони візуалізуються

у вигляді графіків, таблиць і динамічних звітів. Це дозволяє користувачу та лікарю отримати повну картину фізичного стану.

Важливою особливістю Garmin Connect є можливість довготривалого моніторингу, що відкриває перспективи виявлення тенденцій: наприклад, зниження варіабельності серцевого ритму може сигналізувати про перевтому чи перенапруження. У фізичній реабілітації це допомагає вчасно коригувати програму відновлення.

Дані з Garmin також можна інтегрувати з іншими платформами – Strava, TrainingPeaks, Google Fit, Apple Health, а також із професійними медичними сервісами. Це створює можливість формування єдиного цифрового профілю пацієнта, доступного для лікаря-реабілітолога.

У практиці фізичної реабілітації отримані дані можна використовувати для:

- визначення безпечної інтенсивності тренувань після кардіологічних чи ортопедичних втручань;
- контролю відновлення пацієнтів та попередження перетренованості;
- формування індивідуальних планів занять із поступовим збільшенням навантаження;
- документування прогресу пацієнта для об'єктивної оцінки ефективності лікування.

Таким чином, екосистема Garmin виступає не лише як спортивний інструмент, але й як засіб цифрової медицини, що дозволяє інтегрувати дані сенсорів у реабілітаційний процес та використовувати їх для підвищення його ефективності [14].

Матеріали та методи.

Дослідження проведено у форматі проспективного клінічного спостереження за пацієнтом похилого віку після ішемічного інсульту. Усі персональні дані пацієнта були знеособлені, а використання результатів моніторингу в межах цього клінічного спостереження здійснювалося за умови інформованої згоди пацієнта та з дотриманням принципів конфіденційності.

Для моніторингу фізіологічних показників застосовано смарт-годинник Garmin Forerunner 965 у поєднанні з нагрудним сенсором Garmin HRM-Pro Plus, який забезпечує високоточне вимірювання частоти серцевих скорочень (ЧСС), варіабельності серцевого ритму (HRV) та параметрів ходьби.

Перед початком спостереження пристрої були сполучені через протокол ANT+ / Bluetooth Low Energy. Усі показники автоматично синхронізувалися з хмарною платформою Garmin Connect, де здійснювався збір, візуалізація та аналіз даних.

Використовувалися такі ключові метрики:

- ЧСС у спокої та під час активності;

- HRV Status (оцінка відновлення та рівня стресу);

- SpO<sub>2</sub> (насичення крові киснем);

- Running Dynamics – каденс, довжина кроку, вертикальні коливання, час контакту з опорою;

- Середня кількість кроків за добу та 6-хвилинний тест ходьби (6MWD) як клінічний індикатор толерантності до навантаження.

Дані аналізувалися у динаміці протягом 8 тижнів реабілітації. Корекція програми фізичної терапії проводилася відповідно до пульсових зон та HRV-показників, визначених у Garmin Connect.

Пацієнт В, 79 років, після ішемічного інсульту (6 тижнів після виписки зі стаціонару).

Первинна оцінка: середній добовий крок – 1800 кроків/день, 6MWD = 190 м, ЧСС = 138 уд/хв, рівень втоми за шкалою Borg = 14. Виявлено короткі періоди активності (до 2 хв) і тривалу гіпокінезію протягом доби.

Інтервенція. Пацієнту було встановлено фітнес-годинник Garmin Forerunner 965, який синхронізувався з нагрудним датчиком HRM-Pro Plus для підвищення точності вимірювання ЧСС та варіабельності серцевого ритму (HRV). Дані автоматично передавалися в Garmin Connect, де фізичний терапевт відстежував активність, пульсові зони, HRV Status і SpO<sub>2</sub>.

Програма реабілітації включала щоденні 20–30-хвилинні сеанси ходьби п'ять разів на тиждень із поступовим збільшенням темпу та тривалості під контролем пульсової зони (60–80 % від максимальної ЧСС).

Проміжна корекція. На 4-му тижні дані з Garmin Connect виявили часті виходи за межі 90 % від аеробного порогу (>125 уд/хв), що вказувало на надмірне навантаження. Після аналізу даних терапевт зменшив швидкість ходьби, збільшив кількість коротших сесій (5×20 хв замість 3×30 хв) та додав перерви для відновлення.

Така адаптація дозволила утримувати ЧСС у цільовому діапазоні (100–115 уд/хв) та покращила переносимість навантаження.

Результати через 8 тижнів:

- 6MWD = 260 м (+70 м, +36,8 %)

- середній добовий крок = 3400 (+1600 кроків)

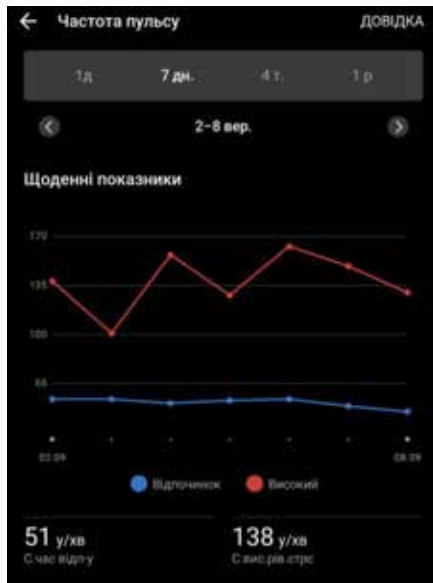
- ЧСС = 110 уд/хв (–28 уд/хв)

- HRV Status – «Balanced» (раніше «Low»)

- рівень втоми за Borg = 11

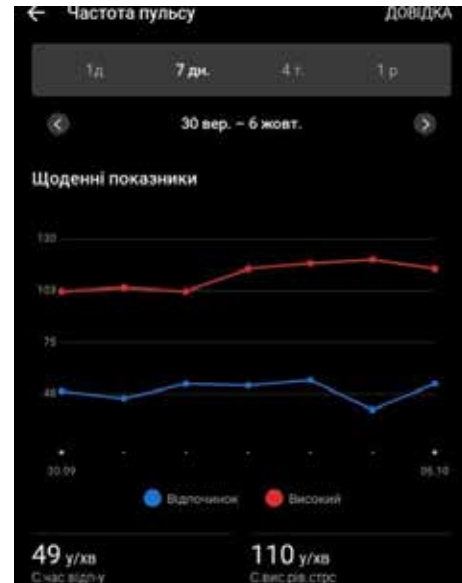
- кількість виходів за межі пульсової зони зменшилася з 12 до 3 випадків за останні 2 тижні.

Таким чином, використання Garmin Forerunner 965 у комбінації з нагрудним датчиком HRM-Pro Plus та аналітичною платформою Garmin Connect



**Рис. 1. Результати вимірювання на початку реабілітації**

*Джерело: власне дослідження авторів*



**Рис. 2. Результати вимірювання після корегування**

*Джерело: власне дослідження авторів*

забезпечило високу точність моніторингу та дало можливість індивідуально коригувати програму реабілітації. Це сприяло безпечному зростанню фізичної активності, зниженню рівня втоми та покращенню толерантності до навантажень у пацієнта похилого віку після інсульту.

### **Висновки і перспективи подальших досліджень**

1. Використання інформаційних технологій у фізичній реабілітації є важливим складником цифрової медицини та створює умови для підвищення об'єктивності, безперервності й персоналізації реабілітаційного процесу. Мобільні медичні застосунки та пристрої персонального моніторингу доповнюють традиційні методи фізичної терапії, розширюючи можливості оцінювання функціонального стану пацієнтів.

2. Мобільні застосунки, зокрема ті, що використовують фотограмметричні методи аналізу постави, дозволяють здійснювати об'єктивну оцінку поструральних порушень, візуалізувати результати та відстежувати динаміку змін у процесі реабілітації. Їх застосування є доцільним як у клінічній практиці, так і в амбулаторних та освітніх умовах.

3. Пристрої персонального моніторингу забезпечують безперервний збір фізіологічних і рухових показників під час виконання реабілітаційних втручань у реальних умовах життєдіяльності пацієнтів. Це дозволяє фізичному терапевту дистанційно контролювати інтенсивність навантажень, оцінювати реакцію організму на фізичні

вправи та своєчасно коригувати програму реабілітації.

4. Поєднання мобільних застосунків і пристроїв персонального моніторингу формує комплексний підхід до цифрової підтримки фізичної реабілітації, у межах якого статичні та динамічні методи оцінювання взаємодоповнюють один одного. Такий підхід сприяє підвищенню безпеки реабілітаційних втручань і покращенню їх ефективності.

5. Клінічний приклад застосування пристроїв персонального моніторингу у реабілітації пацієнта після інсульту продемонстрував можливість використання цифрових даних для обґрунтованої корекції навантаження, зниження рівня втоми та покращення толерантності до фізичної активності. Отримані результати підтверджують доцільність інтеграції таких технологій у практичну діяльність фізичного терапевта.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку пов'язані зі стандартизацією підходів до використання мобільних застосунків і пристроїв персонального моніторингу у фізичній реабілітації, а також із їх інтеграцією в національні системи eHealth. Важливим є проведення розширених клінічних досліджень з участю різних груп пацієнтів для оцінки ефективності цифрових інструментів у довгостроковій перспективі. Окрему увагу доцільно приділити освітньому потенціалу таких технологій у підготовці фахівців з фізичної терапії та реабілітації, з метою формування навичок роботи з цифровими даними у майбутніх спеціалістів.

## Список літератури:

1. Kristoffersson A., Schena E. A systematic review of wearable sensors for monitoring physical activity, gait, balance and rehabilitation. *Sensors (Basel)*. 2022. Vol. 22, No. 2. P. 573. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22020573>
2. Boukhenoufa I., Zhai X., Utti V., Jackson J., McDonald-Maier K. Wearable sensors and machine learning in post-stroke rehabilitation assessment: a systematic review. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2022. Vol. 71. P. 103197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2021.103197>
3. Rodgers M.M., Alon G., Pai V.M., Conroy R.S. Wearable technologies for active living and rehabilitation: current research challenges and future opportunities. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*. 2019. Vol. 6. P. 2055668319839607. DOI: <https://doi.org/10.1177/2055668319839607>
4. Горошко В.І. Інноваційні технології мобільних застосунків у реабілітаційній медицині. *Україна. Здоров'я нації.*, 2025. № 3. С. 174–184. DOI: [https://doi.org/10.32782/2077-6594/2025.3/20\\_](https://doi.org/10.32782/2077-6594/2025.3/20_)
5. Solohubova S.V. Мобільні застосунки як засіб підвищення ефективності фізичної реабілітації. Конф. політех.: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (Полтава–Лубни, 17–18 квітня 2025 р.). Полтава–Лубни, 2025. С. 342–347. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18011115>
6. Trovato B., Palermo E., Avola D. et al. Postural evaluation in young healthy adults through a digital and reproducible method. *Frontiers in Digital Health*. 2022. Vol. 4. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgdh.2022.1030584>
7. Moreira R., Teles A., Fialho R. et al. Mobile applications for assessing human posture: a systematic literature review. *Electronics*. 2020. Vol. 9, No. 8. P. 1196. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics9081196>
8. Timurtaş E., Avcı E., Mate K. et al. A mobile application tool for standing posture analysis: development, validity, and reliability. *Irish Journal of Medical Science*. 2021. Vol. 191. P. 2123–2131. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11845-021-02827-5>
9. Вишемірська Я.С., Вишемірський Є.Д. Інформаційні технології в реабілітації: аналіз даних із пульсометрів та пристроїв для моніторингу фізичної активності. Біобезпека та сучасні реабілітаційні технології. Теорія, практика, перспективи: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 23–24 жовтня 2025 р.). Київ, 2025. С. 247
10. Вишемірська Я.С., Вишемірський Є.Д. Використання мобільних застосунків у фізичній реабілітації. Інформаційні технології та автоматизація – 2025: матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції (Одеса, 30–31 жовтня 2025 р.). Одеса, 2025. С. 1218
11. Çankaya M., Takı F.N. Comparison of postural assessment and awareness in individuals receiving posture training using the digital AI posture assessment and correction system (APECS). *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/10803548.2024.2397836>
12. Міністерство охорони здоров'я України. Мобільні цифрові засоби і застосунки. Київ, 2024. URL: <https://moz.gov.ua/uk/mobilnij-telefon-smartfon-ta-mobilni-zastosunki> (дата звернення: 11.01.2026)
13. Etiwy M., Akhrass Z., Gillinov L. et al. Accuracy of wearable heart rate monitors in cardiac rehabilitation. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*. 2019. Vol. 9, No. 3. P. 262–271. DOI: <https://doi.org/10.21037/cdt.2019.04.08>
14. Szeto K., Arnold J., Singh B. et al. Wearable activity trackers to improve physical activity during hospitalizations. American College of Cardiology. 2023. URL: <https://www.acc.org/Latest-in-Cardiology/Journal-Scans/2023/06/21/15/05/interventions-using-wearable> (дата звернення: 11.01.2026)

**Vyshemirskaya Ya.S., Shytikov T.O., Vyshemirskiy Ye.D. INFORMATION TECHNOLOGIES AS TOOLS OF DIGITAL MEDICINE (MOBILE APPLICATIONS AND PERSONAL MONITORING DEVICES IN PHYSICAL REHABILITATION)**

*The article examines information technologies as tools of digital medicine in physical rehabilitation based on the combined use of mobile medical applications and personal monitoring devices. The relevance of the topic is driven by the rapid growth of digital health data volumes and the expansion of remote patient support practices, where objective indicators are collected without the continuous presence of a physical therapist, while data analysis enables timely adjustment of rehabilitation programs. The study summarizes contemporary approaches to the use of mHealth solutions in rehabilitation and highlights the practical potential of photogrammetric posture analysis using the Apecs application as an accessible tool for assessing postural deviations and visualizing results for both specialists and patients. Particular attention is paid to personal monitoring devices (smartwatches and chest sensors) that ensure continuous acquisition of physiological and movement-related parameters, including heart rate, heart rate variability (HRV), blood oxygen saturation (SpO<sub>2</sub>), step activity, and gait characteristics, followed by their processing within analytical platforms.*

*The practical implementation of this approach is demonstrated through a clinical case of rehabilitation of an elderly patient after ischemic stroke using the Garmin ecosystem (Garmin Forerunner 965 smartwatch combined with the HRM-Pro Plus chest sensor and the Garmin Connect platform). Dynamic monitoring made*

*it possible to assess the body's response to physical load, identify excursions beyond target zones, and adjust the rehabilitation program by modifying the duration, intensity, and structure of walking sessions. These adjustments contributed to improved tolerance to physical activity and a reduction in subjective fatigue levels.*

*It is concluded that the integrated use of mobile applications and personal sensor devices creates a foundation for the objectification of rehabilitation decision-making, enhancement of intervention safety, and development of remote models of physical therapy. Prospects for further research include the standardization of digital indicator interpretation, integration of collected data into national eHealth systems, expansion of the evidence base across different clinical populations, and the implementation of digital tools in the professional training of future physical therapy and rehabilitation specialists.*

**Keywords:** *digital medicine, physical rehabilitation, mobile medical applications, mHealth, photogrammetry, posture analysis, personal monitoring devices, smartwatch, heart rate variability, remote monitoring.*

Дата першого надходження статті до видання: 13.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 08.04.2026