

УДК 615.47: 004.9

DOI: 10.31498/2225-6733.52.2025.350993

ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІОНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ  
РУХОВОЇ АКТИВНОСТІ «MTEST»

<b>Кущак О.А.</b>	канд. техн. наук, зав. відділу, Інститут інформаційних технологій та систем НАН України, м. Київ, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-2277-7411">https://orcid.org/0000-0003-2277-7411</a> , e-mail: <a href="mailto:spirotech85@ukr.net">spirotech85@ukr.net</a> ;
<b>Пезенцалі Г.О.</b>	канд. техн. наук, ст. наук. співробітник, Інститут інформаційних технологій та систем НАН України, м. Київ, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6319-6993">https://orcid.org/0000-0001-6319-6993</a> , e-mail: <a href="mailto:annp.irtc@gmail.com">annp.irtc@gmail.com</a> ;
<b>Кришанович М.Ю.</b>	пров. інженер, Інститут інформаційних технологій та систем НАН України, м. Київ, ORCID: <a href="https://orcid.org/0009-0002-0032-7698">https://orcid.org/0009-0002-0032-7698</a> , e-mail: <a href="mailto:torhold@gmail.com">torhold@gmail.com</a>

Причинами порушення / втрати рухової активності можуть бути як центральні, так і периферичні ураження, зокрема поранення, травми та парези різного генезу. Повноцінну реабілітацію рухової активності пов'язано з адекватною стану пацієнта мобілізацією резервів організму на її відновлення. Вирішення задачі відновлення рухової активності пов'язано із застосуванням її діагностики на всіх етапах реабілітації. Мета статті – адаптація розробленої методики кількісного оцінювання рухової активності до периферичних уражень і проєктування її технічної реалізації як інформаційної системи діагностування рухової активності «MTest». В роботі описано розроблену методику кількісного оцінювання рухової активності, адаптовану до периферичних уражень, на основі якої створено цифрові засоби її діагностики. Розроблено структурно-функційну схему, програмний алгоритм діагностики рухової активності, UML-діаграми діяльності у програмній системі «MTest». Моделювання, попередня лабораторна та клінічна апробація цієї програмної системи підтвердили ефективність запропонованих рішень і доцільність їх застосування у клінічній практиці. Значення одержаних результатів полягає у створенні основи створення сучасних інформаційних технологій цифрової медицини, спрямованих на підвищення ефективності відновлення рухової активності людини, персоналізацію лікування й інтеграцію елементів штучного інтелекту у прийняття медичних рішень. Соціальне значення розроблених підходів полягає у підвищенні ефективності реабілітації у разі периферичних уражень, що має особливу актуальність в умовах воєнних і післявоєнних реалій.

**Ключові слова:** рухова активність, інформаційна допомога, діагностика, моделі, алгоритми, програмні системи, інформаційна система, інформаційна технологія.

**Постановка проблеми**

Значення рухової активності в житті людини неможна переоцінити. Сьогодні це один з найефективніших засобів відновлення здоров'я. Причинами порушення / втрати рухової активності можуть бути захворювання / ураження як центральні (інсульт, ДЦП), так і периферичні, зокрема поранення, травми та парези різного генезу.

Повноцінна реабілітація рухової активності пов'язана з адекватною стану пацієнта мобілізацією резервів організму на відновлення цих пошкоджених або втрачених функцій. Вирішення задачі відновлення рухової активності пов'язано із застосуванням її діагностики на всіх етапах реабілітації. Така діагностика передбачає кількісне оцінювання глибини порушень рухів кінцівок (зокрема тонкої моторики кисті для відновлення мовлення). Таку задачу може бути вирішено із застосуванням методів і засобів цифрової медицини, а також елементів штучного інтелекту.

Кількість пацієнтів, військових і цивільних, дорослих і дітей, з патологією рухової активності значно збільшилась внаслідок воєнних дій. Умови воєнного і післявоєнного стану висувають першочергові вимоги до розроблення та впровадження нових інформаційних технологій оцінювання / відновлення рухової

активності, серед яких головними є персоналізація, мобільність, оперативність, зручність сприйняття і застосування не тільки у профільних медичних установах, але й у військовій медицині.

У попередніх дослідженнях [1] розроблено методику кількісного оцінювання рухової активності на базі експертного оцінювання за основними та додатковими доказовими критеріями у пацієнтів після інсультів, а її апробація підтвердила переваги та доцільність її застосування у клінічній практиці [1]. Проте в ній не враховано оцінювання рухової активності, що є наслідком периферичних уражень, зокрема травм, поранень тощо. В цій роботі здійснено адаптацію такої методики до подібних задач і спроектовано інформаційну систему діагностування рухової активності «MTest», яка цю методику реалізує.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій**

*Сучасний стан проблеми.* У світовій практиці для діагностики рухової активності пацієнтів застосовуються різні методи та засоби. Широко у практиці оцінювання рухової активності застосовують метод тривимірного захоплення рухів [2-4]. Також є комплекси оцінювання рухів, що застосовують гібридні сенсори, які поєднують функції електроміографії,

акселерометра та гіроскопа [5-8].

У системах оцінювання рухової активності [3, 5-7] спрямовано здебільшого на оцінювання порушень рухів верхньої кінцівки.

Зазвичай для оцінювання рухової активності застосовують інструментальні методи: динамометрія (сила м'язів) [9], гоніометрія (обсяг рухів) [10], міотометрія (м'язовий тонус) [11], а також тестові методи експертного оцінювання.

Внаслідок здійсненого аналізу методів і засобів експертного оцінювання рухової активності варто виділити такі з них: *Rivermead Motor Assessment* (оцінювання верхньої та нижньої кінцівок, а також тулуба за двобальною градацією шляхом виконання пацієнтом тестів) [12]; *Motricity Index*; оцінювання рухової активності верхньої та нижньої кінцівок із застосуванням шкали з нерівномірною градацією у балах [13]; *Fugl-Meyer Stroke Scale* (рухова швидкість, обсяг рухів у суглобі, нерухові функції з нерівномірною градацією у балах) [14]; *Wolf Motor Function Test (WMFT)* (оцінювання за шестибальною градацією рухів верхньої кінцівки) [15]; *Stroke Impairment Assessment Set (SIAS)* (оцінювання моторних, сенсорних та рухових порушень на основі тестів, де ставиться сумарна оцінка; проте метод потребує певного інструментального супроводу) [16]; оцінювання за дев'ятибальною градацією на базі шкали *Medical Research Council scale* [9], тести неврологічного спрямування *Berg Balance Scale* [17], *National Institutes of Health Stroke Scale* [18] мають характер опитувальника, і крім пунктів, відповідальних за стан рухів, містять нерухові функції. У комплексах оцінювання рухової активності за шкалами експертного оцінювання [19-21] здійснюється за допомогою статистичних методів й надається узагальнений результат.

Хоча за такими методиками їхня спрямованість тільки на верхню кінцівку, нерівномірність градації шкал або ж характер шкали не дають змоги застосувати їх для цілей формування стратегії реабілітації рухів. Варто зазначити також малу доступність інструментальних засобів для оцінювання рухової активності у медичних закладах України. Для завдань подальшого відновлення рухової активності необхідно одержувати більшу кількість параметрів, а також враховувати всі сегменти кінцівок людини, зокрема тонку моторику кисті. Тому для кількісного оцінювання (діагностики) рухової активності можна застосовувати тестові методи експертного оцінювання рухової активності за доказовими критеріями, що є практичними і доступними.

Варто відзначити, що у світовій практиці немає таких програмних систем, які б забезпечували підтримку лікаря у діагностуванні рухів та ефективності їх відновлення як першого етапу у створенні персоналізованого плану відновлення рухової активності, пошкодженої після периферичних уражень.

Отже, інтеграція елементів штучного інтелекту, методики оцінювання рухової активності та програмного забезпечення дає змогу забезпечувати

інформаційну підтримку лікаря у прийнятті діагностичних рішень [22, 23].

#### Мета статті

Мета – адаптація розробленої методики кількісного оцінювання рухової активності до периферичних уражень і проєктування її технічної реалізації як інформаційної системи діагностування рухової активності «*MTest*» для підвищення ефективності відновлення рухової активності у цивільних і у військових після порушень, внаслідок подій повномасштабної війни.

#### Виклад основного матеріалу

Симптоматика рухових порушень залежить від локалізації та розміру патологічного вогнища. Спочатку довільні рухи може бути повністю втрачено, а потім плегія переходить у парез з переважним ураженням дистальних відділів кінцівок. Якщо внаслідок центральних уражень переважно страждають у руці м'язи-згиначі, а в нозі – м'язи-розгиначі, то внаслідок периферичних уражень може бути задіяно всі можливі комбінації м'язів.

З медичної практики відомо, що м'язи-згиначі мають вищий природний тонус порівняно з м'язами-розгиначами, а отже, акцент має бути на останніх. У разі підвищення м'язового тону на м'язі дозволяються тільки протилежні впливи, а саме на м'язи-антагоністи. У разі впливу на м'язи-агоністи з підвищеним тонусом (уражений м'яз та м'язи, що асистують йому в русі) може посилити й так високий тонус впритул до контрактури. Також нерівномірне підвищення тону м'язів призводить до формування спастики у суглобах руки і ноги [24-27].

Відновлення рухової активності має починатися і закінчуватися її експертним оцінюванням на кожному етапі реабілітації внаслідок центральних і периферичних уражень (зокрема, травм, поранень тощо).

Кількісне оцінювання порушень рухової активності відіграє важливу роль у цифровій медицині. Таке оцінювання допомагає лікарю зменшити помилку в оцінюванні перебігу та ефективності реабілітаційного процесу, а також є основою синтезу засобів інформаційної допомоги лікарю в діагностиці та відновленні рухової активності на різних етапах реабілітації.

В результаті аналізу у попередніх дослідженнях [1] для оцінювання порушень рухової активності вибрано основні та додаткові доказові критерії з відповідними шкалами оцінювання, які мають однакову шестибальну градацію та зіставляються зі шкалою динаміки парезу (що є зручним для формування сумарної кількісної оцінки) (рис. 1).

– *основні*: оцінювання за критеріями сили м'язів за шкалою та обсягу рухів проксимальних та дистальних відділів кінцівок на рівні суглобів [28];

– *додаткові*: оцінювання тонкої моторики кисті руки та форми ходи [29].

Інформаційно-структурну модель оцінювання

модель оцінювання рухової активності за доказовими критеріями надано на рис. 1.



Рис. 1 – Інформаційно-структурна модель оцінювання рухової активності за доказовими критеріями

Порівняно з наслідками інсульту, де розглядається тільки одна уражена сторона тіла (лівий або правий бік тіла), у разі периферичних уражень можемо розглядати різні комбінації: наприклад, ліва кисть і права нога, ліва рука і права рука тощо. Тому для оцінювання рухової активності внаслідок периферичних уражень (без виключення центральних уражень) розроблену методику адаптовано за рахунок введення додаткових параметрів: розташування (верхня або нижня кінцівка), бік (лівий або правий), тип м'яза (м'язи-згиначі або м'язи-розгиначі). Таку адаптацію подано на рис. 2.

Сумарне кількісне оцінювання порушень рухової активності здійснюється за рахунок припущення, що всі доказові критерії рівнозначні та характеризують ступінь парезу, та їх зіставлення у відповідних сегментах кінцівок, причому з інтервалами у балах відповідно до динаміки парезу [1].

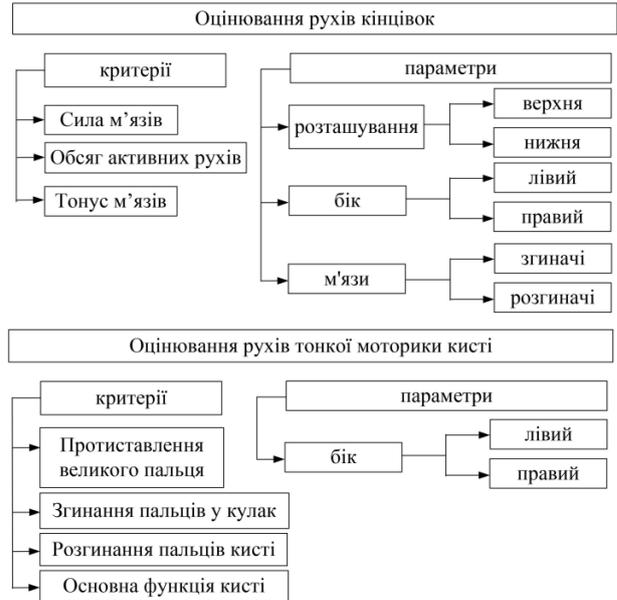


Рис. 2 – Інформаційно-структурна модель оцінювання рухової активності за доказовими критеріями з прив'язкою до додаткових параметрів

Зіставлення критеріїв показує, що максимальна сумарна оцінка у балах для сегментів кінцівок становить 10 балів, для тонкої моторики кисті – 20 балів. Це – найвищі показники, що показують відсутність порушень рухової активності. Для хо́ди сумарної оцінки немає, оскільки її подано одним критерієм.

Інтервали динаміки критеріїв для різних ступенів парезу запропоновано так, щоб в оцінюванні парезу для кожного сегменту кінцівок задіяно відповідну кількість критеріїв: для сегментів кінцівок (два критерії) поріг появи порушень починається з 9 балів, для тонкої моторики кисті (чотири критерії) – з 19 балів (табл. 1).

У відновленні рухової активності пацієнта постає необхідність досліджувати її динаміку відновлення на різних етапах реабілітації. Ефективність відновлення рухової активності визначається порівнянням її динаміки до і після реабілітації.

Таблиця 1

Сумарна кількісна оцінка порушень рухових функцій та динаміки ступеня парезу (модифіковано за [28])

СУМАРНЕ ОЦІНЮВАННЯ У БАЛАХ ЗА КРИТЕРІЯМИ						
Суглоби відділів верхньої та нижньої кінцівок						
Бали	0	1–2	3–4	5–7	8–9	10
Ступінь парезу	плегія (функції немає)	грубий	значний	помірний	легкий	немає порушень
Тонка моторика кисті						
Бали	0	1–4	5–8	9–15	16–19	20
Ступінь парезу	плегія (функції немає)	грубий	значний	помірний	легкий	немає порушень
Хо́да						
Бали	0	1	2	3	4	5
Ступінь парезу	плегія (функції немає)	грубий	значний	помірний	легкий	немає порушень

Введено градації ефективності з прив'язкою до вербальної оцінки: без змін, незначне покращення, покращення, значне покращення, за формулою  $\Delta = \Delta_2 - \Delta_1$ , де  $\Delta_1$  – бали до реабілітації,  $\Delta_2$  – бали після реабілітації,  $\Delta$  – різниця балів, яка показує ефективність реабілітації. Розподіл градацій позитивної ефективності надано у табл. 2.

Таблиця 2

Оцінювання ефективності реабілітації з відновлення моторних функцій [28]

Градації ефективності реабілітації рухів	Величина ефективності реабілітації рухів, $\Delta$ балів		
	Глобальні рухи на рівні суглобів	Тонка моторика кисті	Форма ходи
Значне покращення	5–10	9–20	3–5
Покращення	3–4	5–8	2
Незначне покращення	1–2	1–4	1
Без змін	0	0	0

**Тонус м'язів.** Крім зазначених критеріїв, на рівні сегментів кінцівок (суглобів) також оцінюється тонус м'язів. Під ним розуміють ступінь пружності м'яза і той спротив, який виникає в умовах пасивного розтягнення м'яза впродовж руху у суглобі. Його динаміка є важливим індикатором наявності і локалізації порушень, але визначити ці зміни не завжди легко.

**Гіпертонус м'язів** оцінюється за модифікованою шкалою Ашфорт [28, 30]. Крім того, спеціально розроблено шестибальну шкалу для оцінювання гіпотонусу [28], що є важливим складником оцінювання, зокрема, за периферичних уражень. Так само ці шкали мають однакову спрямованість. Проте цей критерій не входить в сумарну кількісну оцінку рухової активності, – він має значення у формуванні дозволенних до застосування на м'язах вибраних сегментів кінцівок (зокрема, тонкої моторики кисті) програм міостимуляції в персоналізованому підході до відновлення рухової активності.

**Переваги методики кількісного оцінювання рухової активності, адаптованої до периферичних уражень**, на базі експертного оцінювання за основними та додатковими критеріями:

- є основою цифрової автоматизації діагностики рухової активності та подальшого формування персоналізованого плану тренування рухів для її відновлення;

- зв'язок доказових критеріїв з додатковими параметрами дає змогу оцінювати рухову активність різних вибраних сегментах кінцівок пацієнта у разі периферичних уражень;

- кількісне порівняння результатів до та після реабілітації сприяє точнішому прогнозуванню динаміки відновлення.

- створення точнішої градації відновлення рухів та зменшення помилки у формуванні кількісної сумарної оцінки рухових функцій уражених кінцівок.

**Структурно-функційна організація програмної системи діагностики рухової активності «MTest».** У попередніх дослідженнях на базі методики кількісного оцінювання розроблено програмну систему інформаційної допомоги лікарю в оцінюванні рухової активності MovementTestStroke [31], апробовану в умовах реабілітації пацієнтів після інсульту. Проте в такій системі не враховано можливості для оцінювання рухової активності в разі периферичних уражень, а також зручного подання інформації лікарю та накопичення результатів для подальшого аналізу, що особливо необхідно в умовах застосування для спостереження за руховою активністю, особливо після травм і поранень.

Тому постає завдання розробити програмну систему діагностики рухової активності «MTest» з розширеними функційними можливості в разі периферичних уражень на базі адаптованої методики кількісного оцінювання рухової активності.

Відповідною структурно-функційною моделлю на рис. 3 подано і описано взаємодію лікаря з програмною системою «MTest».

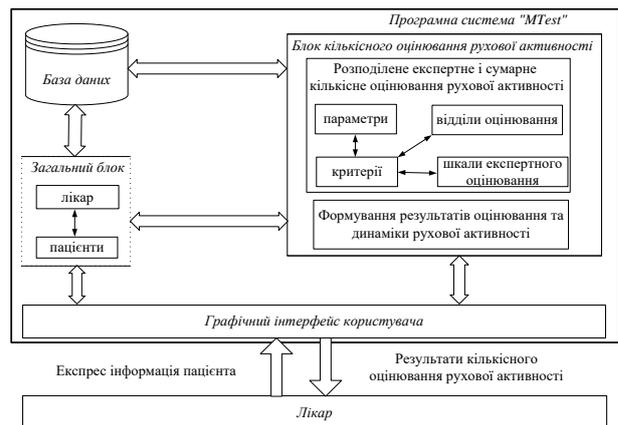


Рис. 3 – Структурно-функційна модель взаємодії лікаря з програмною системою кількісного оцінювання рухової активності пацієнта «MTest»

Система «MTest» складається з графічного інтерфейсу (далі – інтерфейс) та інформаційних блоків: Загального блоку, Бази даних (БД), Блоку кількісного оцінювання рухової активності (далі – Блок оцінювання). Ці блоки поєднано з інтерфейсом, що забезпечує лікарю діалоговий режим роботи з ними.

Інформаційний блок «База даних» призначено для фіксації і зберігання інформації про всіх пацієнтів, які проходять тестування рухової активності. В ньому є три компоненти: Список лікарів, Список пацієнтів та Персональний електронний медичний запис (ЕМЗ).

У **Загальному блоці** здійснюється реєстрація лікарів і пацієнтів. Після реєстрації інформація про лікаря записується в БД (Список лікарів) так, що лікар може

заходити в систему і бачити тільки своїх пацієнтів.

Після реєстрації інформація пацієнта (дата госпіталізації, прізвище-ініціали-стать пацієнта, номер медичної карти, прізвище лікаря) формує його персональний ЕМЗ в БД (Список пацієнтів, Персональний електронний медичний запис), де і записується. Список пацієнтів подається на інтерфейс таблично, і кожного пацієнта подано короткою довідкою на базі введеної інформації.

Інформаційний блок «Блок оцінювання» призначено для одержання кількісної оцінки рухової активності вибраних лікарем сегментів кінцівок, тонкої моторики кисті або ходи в балах за доказовими критеріями відповідно до шкал оцінювання, виведення на інтерфейс узагальнених результатів розподіленого та сумарного кількісного оцінювання, а також динаміки рухової активності в межах курсу реабілітації пацієнта.

Відповідно до призначення цей блок складається з компонентів: *Розподілене експертне та сумарне кількісне оцінювання рухової активності, Формування результатів оцінювання та динаміки рухової активності.*

Функційне призначення компонента *Розподілене експертне та сумарне кількісне оцінювання рухової активності* – розподілене подання об'єктів тестування рухових функцій (кінцівка, кисть, хода) та доказових критеріїв їх оцінювання, а також зв'язок доказових критеріїв зі шкалами оцінювання та додатковими параметрами для оцінювання у разі периферичних уражень.

Функційне призначення компонента *Формування результатів оцінювання та динаміки рухової активності* – формування текстової інформації про результати кількісного та сумарного оцінювання вибраних об'єктів тестування на поточному сеансі тестування рухової активності пацієнта в межах поточного курсу його реабілітації, а також для графічне виведення динаміки рухової активності в межах цього курсу реабілітації.

Власне програмний алгоритм діагностики рухової активності подано на рис. 4.

Лікар входить в систему за своїм паролем або реєструється у системі. Зайшовши в систему, лікар вибирає пацієнта для тестування рухової активності або реєструє у разі відсутності пацієнта в системі на базі його експрес-інформації з медичної карти. Наявність пацієнта у системі відкриває доступ до його персонального ЕМЗ в БД, де зберігаються результати розподіленого експертного та сумарного кількісного оцінювання рухової активності за доказовими критеріями в межах всього курсу реабілітації пацієнта.

Лікар може переглянути всю інформацію конкретного пацієнта з кожного сеансу тестування в межах реабілітації: динаміку рухової активності та інформацію про кількісне та сумарне оцінювання рухової активності.

Для цього програмно формується запит в БД, після чого відповідний результат виводиться на

інтерфейс. Динаміка виводиться на інтерфейс в табличному і графічному поданнях. Інформація виводиться текстово.

У профілі пацієнта лікар може вибрати наявний сеанс тестування або створити новий сеанс. Тоді у разі здійснення тестування рухової активності у вибраному сеансі лікар викликає форму, де вибирає об'єкт тестування (суглоби кінцівок, тонка моторика кисті або хода), а також доказові критерії та додаткові параметри: у разі оцінювання рухів кінцівок – її розташування (верхня або нижня), бік (лівий або правий) та тип м'яза (згинач або розгинач); у разі оцінювання рухів тонкої моторики кисті – бік (лівий або правий). У разі оцінювання ходи лікар вибирає тільки доказові критерії кількісного оцінювання.



Рис. 4 – Програмний алгоритм оцінювання рухової активності пацієнта в системі «MTest»

Лікар виконує розподілене експертне оцінювання на базі відповідних шкал кількісного оцінювання рухів пацієнта за доказовими критеріями на рівні цього об'єкта:

- за основними доказовими критеріями (сила м'язів, обсяг рухів): рухи верхньої та нижньої кінцівок на рівні окремих суглобів у проксимальному (2 суглоба) та дистальному (1 суглоб) відділах;
- за додатковими доказовими критеріями: тонкої

моторики кисті (протиставлення великого пальця, згинання пальців у кулак, основна функція кисті – схоплення, розгинання пальців кисті) та форми ходи;

– тонус м'язів оцінюється не завжди, а тільки якщо надалі буде формування персоналізованого підходу до відновлення рухової активності на базі програм міостимуляції.

Для кожного доказового критерію за запитом лікаря на інтерфейс виводяться *шкали експертного оцінювання*, де лікар фіксує відповідність результатів мануального тестування рухової активності цього об'єкта комплексу вербальних характеристик за доказовими критеріями на цих шкалах. Такий вибір програмно переводиться в бал, що виводиться на інтерфейс.

Коли в межах вибраного об'єкта тестування здійснено необхідні дії з кількісного оцінювання за доказовими критеріями, програмно обчислюються сумарні кількісні оцінки (суглоби вибраних відділів верхньої або нижньої кінцівок, тонка моторика кисті або хода) та визначається ступінь парезу (табл. 1).

Якщо в межах курсу реабілітації тестування рухів пацієнта виконується не вперше, до цього компонента з БД надходять дані сумарної оцінки рухів за перше тестування. Шляхом порівняння сумарних оцінок поточного та першого тестувань обчислюються і виводяться на інтерфейс ефективність відновлення рухової активності (табл. 2).

Результати поточного тестування рухів у балах та ефективність відновлення рухів зберігаються у персональному ЕМЗ пацієнта БД.

В *блоці оцінювання* за запитом в БД можна вивести таблично результати поточного оцінювання всіх вибраних об'єктів тестування.

Розроблена структурно-функційна модель діагностики рухової активності відображає комплексну взаємодію лікаря та програмної системи. В моделі систематизовано етапи збирання, аналізу та інтерпретації даних, що забезпечує логічну послідовність у процесі прийняття рішень. Її реалізація дає змогу інтегрувати клінічні параметри в єдиний інформаційний простір і створити передумови для інтелектуальної підтримки лікаря під час діагностики рухової активності пацієнта. Практичне значення полягає в оцінюванні рухової активності за периферичних уражень. Розроблені модель та програмний алгоритм можуть бути основою програмних систем цифрової медицини, підвищуючи ефективність діагностики, а також стратегій відновлення рухової активності.

*Взаємодія лікаря з програмною реалізацією системи «MTest».* Програмну реалізацію системи діагностики рухової активності «MTest» призначено для застосування в клініках, зокрема клініках військової медицини. Ця система є апаратонезалежною. В інтерфейсі програми визначено роль лікаря та його взаємодію з цією програмною системою, що подано UML-діаграмою прецедентів (рис. 5). Програмна реалізація системи «MTest» – середовище MS Visual Studio 2022, мова програмування C#, встановлено у структурі ПК.

Лікар здійснює авторизацію, веде реєстр пацієнтів, вносить у програму дані пацієнта, фіксує у програмі результати тестування рухової активності, а також аналізує динаміку відновлення рухової активності пацієнтів.

*Бізнес-процеси програмної реалізації системи «MTest».* Відповідні UML-діаграми послідовностей відображають бізнес-процеси системи «MTest», а саме взаємодії впорядкованих у часі об'єктів.

Програмна реалізація системи «MTest» починається з входу лікаря у програму (рис. 6). На вході системи він має авторизуватися (логін / пароль) або зареєструватися у системі, й далі вже зайти в програму.



Рис. 5 – UML-діаграма прецедентів: роль і напрями взаємодії лікаря із системою діагностики рухової активності «MTest»

Далі програмно виводиться список пацієнтів, що міститься у БД. Якщо список пустий, то необхідно реєструвати пацієнта, ввівши його експрес-інформацію. Далі список пацієнтів оновлюється, і робота програми продовжується. Надалі бізнес-процеси відбуваються за діаграмою на рис. 7.

Лікар вибирає потрібного пацієнта, робиться програмно запит на виведення профілю пацієнта, в якому лікар може виконати:

- кількісне та сумарне оцінювання рухової активності (окремий сценарій);
- запит результатів діагностики рухової активності з виведенням текстової інформації;
- запит динаміки рухової активності з виведенням інформації в таблицях і графіках.

У разі запиту такої інформації програмно формується вибірка з БД, що містить потрібну інформацію як текст, таблично або графічно.

Після завершення всіх дій тестування лікар виходить з програми. Діагностика рухової активності здійснюється за окремим сценарієм (рис. 8).

На момент, коли лікар активує форму діагностики рухової активності, активним є лише випадний список з об'єктами тестування рухових функцій (кінцівки, суглоби, кисть, хода), а також випадні списки з додатковими параметрами (розташування кінцівки: верхня,

нижня; бік: лівий, правий; тип м'язу: м'яз-згинач або м'яз-розгинач). На цій основі формуються масиви даних для запису в БД.

Випадний список задає доказові критерії та їхню кількість на інтерфейсі. Коли лікар вибирає об'єкт тестувань, активуються доказові критерії з елементами керування.

Виведення полів доказових критеріїв відкриває перехід до вибору потрібної вербальної характеристики вибраної шкали експертного оцінювання на відповідність поточному стану рухової активності. Лікар фіксує ці вербальні характеристики, а програма переводить це в бал, повертає назад, і замість елемента фіксації з'являється числове значення у балах.

Після опрацювання всіх доказових критеріїв вибраного об'єкта тестування для нього програмно визначається ступінь порезу, що виводиться на інтерфейс. За умови, що цей об'єкт оцінюється не вперше, визначається ефективність його відновлення. Результати в межах поточного об'єкта тестування зберігаються у БД.

Впровадження програмної системи «MTest» як складника інтелектуальної інформаційної технології керування відновленням м'язових функцій здійснено в ДП «Санаторій Конча Заспа». У клінічних умовах діагностовано 25 пацієнтів, результати оцінювання динаміки відновлення рухової активності показало позитивну динаміку відновлення у 19 пацієнтів, в інших – без змін або незначна динаміка.

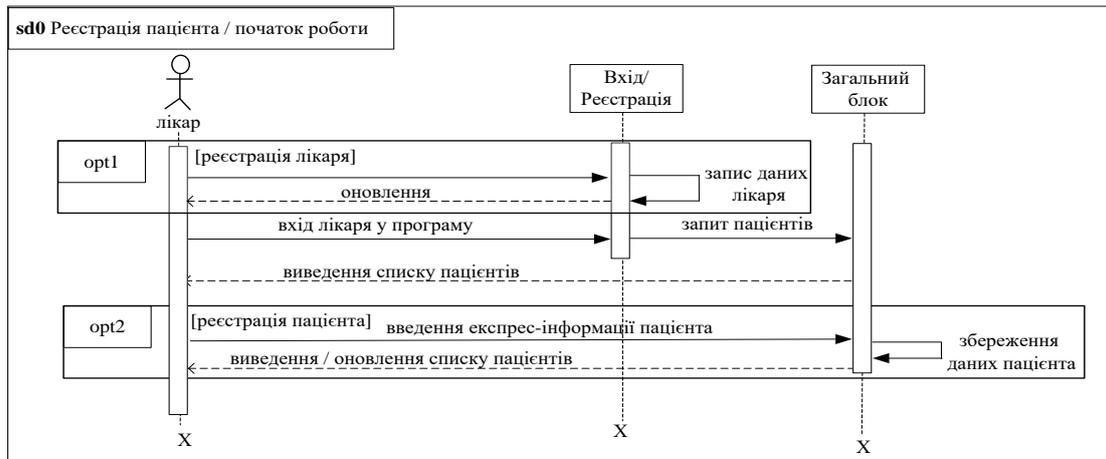


Рис. 6 – UML-діаграма послідовностей: реєстрація та початок роботи з програмою "MTest"

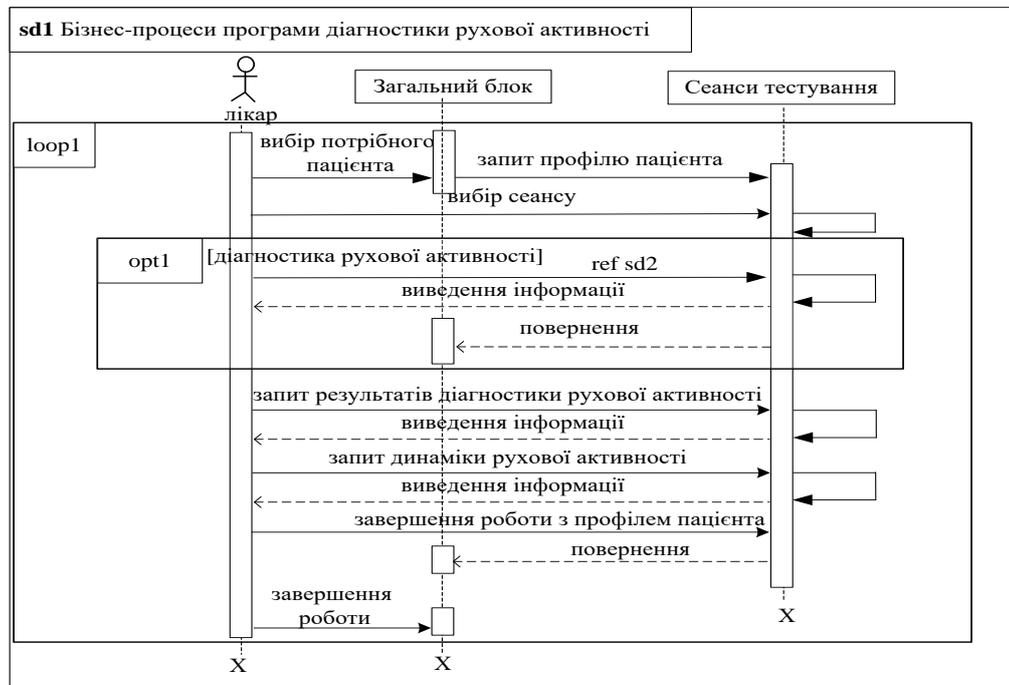


Рис. 7 – UML-діаграма послідовностей: основні бізнес-процеси програми "MTest"

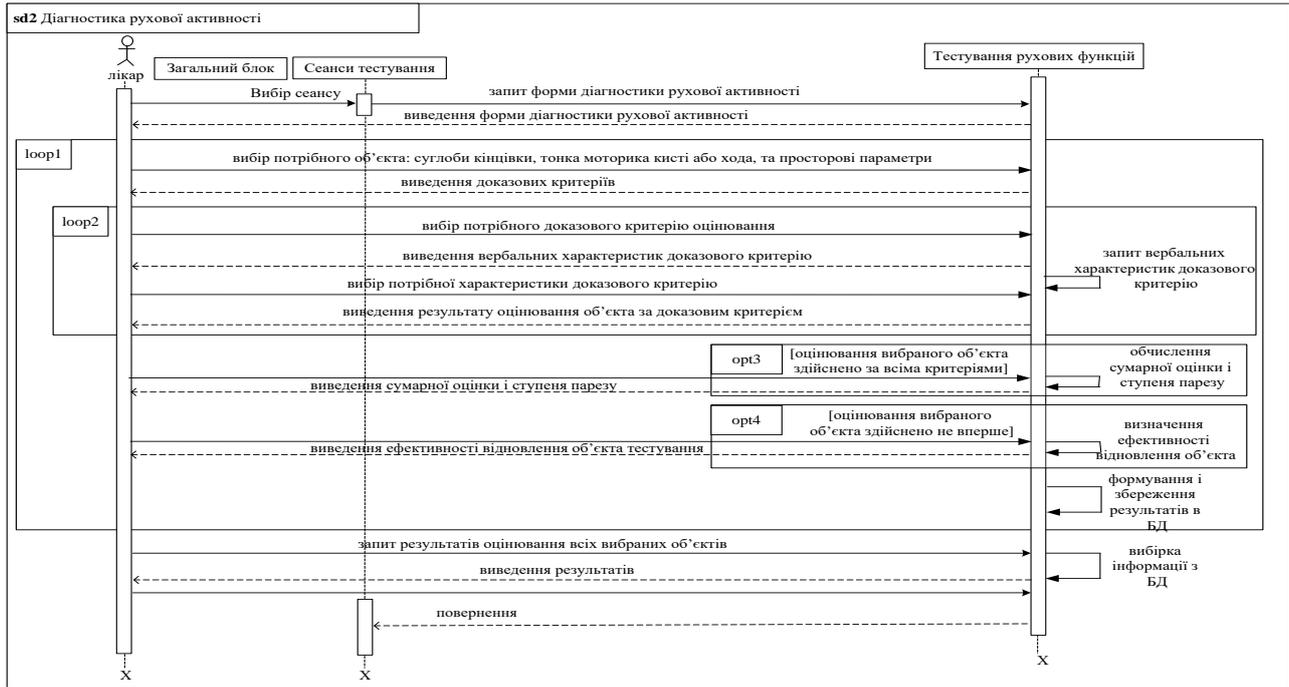


Рис. 8 – UML-діаграма послідовностей: бізнес-процеси діагностики рухової активності програми "MTest"

### Висновки

Адаптовано розроблену методику кількісного оцінювання рухової активності, що забезпечує діагностику порушень рухової активності також за периферичних уражень, а також є основою розроблення цифрових засобів реабілітації м'язових функцій.

Розроблено алгоритм діагностики рухової активності, що його покладено в основу програмної системи, та спроектовано систему «MTest» для інформаційної підтримки лікаря на всіх етапах реабілітації, для оцінювання ним динаміки відновлення рухової активності.

Подальша клінічна апробація системи, реалізованої за наведеними результатами проектування, підтвердила ефективність запропонованих рішень і доцільність їх застосування у клінічній практиці. Одержані результати створюють основу для побудови сучасних інформаційних технологій цифрової медицини, спрямованих на підвищення ефективності відновлення рухової активності, персоналізацію лікування й інтеграцію елементів штучного інтелекту у прийняття медичних рішень. Розроблені підходи уможливають підвищення ефективності реабілітації у разі периферичних уражень, що має особливу актуальність в умовах воєнних і післявоєнних реалій.

### Перелік використаних джерел

[1] Інформаційний супровід досліджень динаміки відновлення рухів після інсульту / Вовк М. І., Куцяк О. А., Лаута А. Д., Овчаренко М. А. *Cybernetics and Computer Engineering*. 2017.

T. 189(3). С. 61-78. DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt189.03.061>.

- [2] Digital Technology in Movement Disorders: Updates, Applications, and Challenges / J. L. Adams et al. *Current Neurology and Neuroscience Reports*. 2021. Vol. 21. Article 16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11910-021-01101-6>.
- [3] Corona F. Quantitative assessment of upper limb motor impairments in people with neurological diseases: Ph.D. dissertation : Industrial Engineering. Cagliari, 2018. 129 p.
- [4] Motor function diagnosis apparatus and method, and program: pat. JP6433805B2 Japan. № JP2015023677A; app. 09.02.2015; publ. 05.12.2018.
- [5] Motor Function Assessment of Upper Limb in Stroke Patients / B. Pan et al. *Journal of Healthcare Engineering*. 2021. Vol. 2021(1). Article 6621950. <https://doi.org/10.1155/2021/6621950>.
- [6] Maceira-Elvira P., Popa T., Schmid A-C. Wearable technology in stroke rehabilitation: towards improved diagnosis and treatment of upper-limb motor impairment. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2019. Vol. 16. Article 142. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0612-y>.
- [7] Jalloul N. Wearable sensors for the monitoring of movement disorders. *Biomedical journal*. 2018. Vol. 41. Pp. 249-253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bj.2018.06.003>.
- [8] Movement monitoring system and apparatus for objective assessment of movement disorders: pat. 2011/0213278A1 U.S. № US13/037,305;

- app. 28.02.2011; publ 01.09.2011.
- [9] Reliability and validity of the Medical Research Council (MRC) scale and a modified scale for testing muscle strength in patients with radial palsy / T. Paternostro-Sluga et al. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2008. Vol. 40(8). Pp. 665-671. DOI: <https://doi.org/10.2340/16501977-0235>.
- [10] Reese N., Bandy W. Joint range of motion and muscle length testing. Elsevier Health Sciences, 2010. 509 p.
- [11] The Utility of Myotonometry in Musculoskeletal Rehabilitation and Human Performance Programming / J. M. McGowen et al. *Journal of Athletic Training*. 2023. Vol. 58(4). Pp. 305-318. DOI: <https://doi.org/10.4085/616.21>.
- [12] Assessment of arm function in stroke patients: Rivermead Motor Assessment arm section revised with Rasch analysis / Van de Winckel A., Feys H., Lincoln N., De Weerd W. *Clinical Rehabilitation*. 2007. Vol. 2(5). Pp. 471-479. DOI: <https://doi.org/10.1177/0269215507071783>.
- [13] Collin C., Wade D. Assessing motor impairment after stroke: a pilot reliability study. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*. 1990. Vol. 53(7). Pp. 576-579. DOI: <https://doi.org/10.1136/jnnp.53.7.576>.
- [14] Gladstone D. J., Danells C. J., Black S. E. The Fugl-Meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties. *Neurorehabil Neural Repair*. 2002. Vol. 16(3). Pp. 232-240. DOI: <https://doi.org/10.1177/154596802401105171>.
- [15] Motor Recovery and Cortical Reorganization after Constraint-Induced Movement Therapy in Stroke Patients: A Preliminary Study / J. D. Schaechter et al. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2002. Vol. 16(4). Pp. 326-338. DOI: <https://doi.org/10.1177/154596830201600403>.
- [16] Stroke Impairment Assessment Set (SIAS) / N. Chino et al. *The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine*. 1994. Vol. 31(2). Pp. 119-125. DOI: <https://doi.org/10.2490/jjrm1963.31.119>.
- [17] Balance Scale is a Valid Measure for Plan Interventions and for Assessing Changes in Postural Balance in Patients with Stroke / K. Miyata et al. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2022. Vol. 54. DOI: <https://doi.org/10.2340/jrm.v54.4443>.
- [18] Homola A. Methods of examination in physical therapy, and occupational therapy of people after stroke (clinical case.) *Ukrainian Scientific Medical Youth Journal*. 2024. Iss. 1(144). Pp. 151-161. DOI: [https://doi.org/10.32345/USMJ.1\(144\).2024.151-161](https://doi.org/10.32345/USMJ.1(144).2024.151-161).
- [19] Jarm T., Kramar P., Županič A. Rating Stroke Patients Based on Movement Analysis. *Proceedings of the 11th Mediterranean Conference on Medical and Biomedical Engineering and Computing*, Ljubljana, Slovenia, 26-30 June 2007. Pp. 266-269. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-73044-6\\_66](https://doi.org/10.1007/978-3-540-73044-6_66).
- [20] Olesh E. V., Yakovenko S., Gritsenko V. Auto-mated Assessment of Upper Extremity Movement Impairment due to Stroke. *Plos One*. 2014. Vol. 9(8). Article e104487. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104487>.
- [21] A motor function test system: pat. WO2005/039412A1 Italia. № PCT/IT2003/000660; app. 24.10.2003; publ 06.05.2005.
- [22] Ahuja A. S. The impact of artificial intelligence in medicine on the future role of the physician. *PeerJ*. 2019. Vol. 7. Article e7702. DOI: <http://doi.org/10.7717/peerj.7702>.
- [23] Buch V. H., Ahmed I., Maruthappu M. Artificial intelligence in medicine: current trends and future possibilities. *British Journal of General Practice*. 2018. Vol. 68(668). Pp. 143-144. DOI: <https://doi.org/10.3399/bjgp18X695213>.
- [24] Extensor Muscles vs. Flexor Muscles. What's the Difference? URL: <https://thisvsthat.io/extensor-muscles-vs-flexor-muscles> (дата звернення: 01 серпня 2025).
- [25] Difference Between Flexor and Extensor Muscles. URL: <https://testbook.com/key-differences/difference-between-flexor-and-extensor-muscles> (дата звернення: 01 серпня 2025).
- [26] A muscle for bending a body part. URL: [https://bereg-bud.com/myaz-dlya-zginannya-chastinita/#google\\_vignette](https://bereg-bud.com/myaz-dlya-zginannya-chastinita/#google_vignette) (дата звернення: 01 серпня 2025).
- [27] Вінничук С. М. Судинні захворювання головного та спинного мозку. Київ : Наукова думка, 1999. 114 с.
- [28] Vovk M. I., Kutsyak O. A. Software module for personal diagnostics of motor functions after stroke. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2019. Vol. 198(4). Pp. 62-77. DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt198.04.062>.
- [29] Vovk M. I., Kutsyak O. A. Information technology for forming a personal movement rehabilitation plan after a stroke. *Cybernetics and Computer Engineering*. 2020. Vol. 201(3). Pp. 87-99. DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt201.03.087>.
- [30] Ashworth Scale / Modified Ashworth Scale. Rehabilitation Measures Database. URL: <https://www.sralab.org/rehabilitation-measures/ashworth-scale-modified-ashworth-scale> (дата звернення: 01 серпня 2025).
- [31] Vovk M. I., Kutsyak O. A. AI-technology of motor functions diagnostics after a stroke. *Cybernetics and Computer Engineering*. 2021. Vol. 2(204). Pp. 84-100. DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt204.02.084>.

## INFORMATION SYSTEM FOR DIAGNOSING MOTOR ACTIVITY «MTEST» DESIGN

<b>Kutsiak O.A.</b>	<i>PhD (Engineering), head of the department, Institute of information technologies and systems of the National academy of sciences of Ukraine, Kyiv, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-2277-7411">https://orcid.org/0000-0003-2277-7411</a>, e-mail: <a href="mailto:spirotech85@ukr.net">spirotech85@ukr.net</a>;</i>
<b>Pezentsali H.O.</b>	<i>PhD (Engineering), senior research fellow, Institute of information technologies and systems of the National academy of sciences of Ukraine, Kyiv, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6319-6993">https://orcid.org/0000-0001-6319-6993</a>, e-mail: <a href="mailto:annp.irtc@gmail.com">annp.irtc@gmail.com</a>;</i>
<b>Krishchanovych M.Yu.</b>	<i>lead engineer, Institute of information technologies and systems of the National academy of sciences of Ukraine, Kyiv, ORCID: <a href="https://orcid.org/0009-0002-0032-7698">https://orcid.org/0009-0002-0032-7698</a>, e-mail: <a href="mailto:tornhold@gmail.com">tornhold@gmail.com</a></i>

**Introduction.** The causes of motor activity impairment/loss can be both central and peripheral disorders, in particular injuries, traumas and paresis of various genesis. Full rehabilitation of motor activity is associated with the mobilization of the body's reserves for its recovery, adequate to the patient's condition. Solving the problem of motor activity recovery is associated with the use of its diagnostics at all stages of rehabilitation. The purpose of the paper is to adapt the developed methodology of quantitative assessment of motor activity for peripheral lesion and designing its technical implementation as an information system for motor activity diagnosing «MTest». **Results.** The work describes the developed method for quantitative assessment of motor activity, adapted to peripheral lesions, on the basis of which the digital means of its diagnosis were created. The structural and functional diagram, a program algorithm for motor activity diagnosing, and UML activity diagrams in the «MTest» software system were developed. Modeling, preliminary laboratory and clinical testing of this software system confirmed the effectiveness of the proposed solutions and the feasibility of their application in clinical practice. **Conclusions.** The significance of obtained results lies in creating the basis for the creation of modern information technologies of digital medicine, aimed at increasing the efficiency of human motor activity recovery, personalizing treatment and integrating elements of artificial intelligence into medical decision-making. The social significance of the developed approaches lies in increasing the effectiveness of rehabilitation in the case of peripheral lesions, which is of particular relevance in the context of war and post-war realities.

**Keywords:** motor activity, information support, diagnostics, models, algorithms, software systems, information system, information technology.

## References

- [1] M.I. Vovk, A.A. Kutsyak, A.D. Lauta, and M.A. Ovcharenko, "Informatsiyni suprovid doslidzhen dynamiky vidnovlennia rukhiv pislia insultu" ["Information Support of Researches on the Dynamics of Movement Restoration After the Stroke"], *Cybernetics and Computer Engineering*, vol. 189(3), pp. 61-78, 2017. doi: 10.15407/kvt189.03.061. (Ukr.)
- [2] J.L. Adams et al., Digital Technology in Movement Disorders: Updates, Applications, and Challenges. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, vol. 21, article 16, 2021. doi: 10.1007/s11910-021-01101-6.
- [3] F. Corona, "Quantitative assessment of upper limb motor impairments in people with neurological diseases," Ph.D. dissertation, Università degli Studi di Cagliari, 2018.
- [4] D. Kushida, "Motor function diagnosis apparatus and method, and program," Japan patent JP6433805B2, Dec. 05, 2018.
- [5] B. Pan, Zh. Huang, T. Jin, J. Wu, Zh. Zhang, and Ya. Shen, "Motor Function Assessment of Upper Limb in Stroke Patients," *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2021 (1), article 6621950, 2021. doi: 10.1155/2021/6621950.
- [6] P. Maceira-Elvira, T. Popa, and A-C. Schmid, "Wearable technology in stroke rehabilitation: towards improved diagnosis and treatment of upper-limb motor impairment," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 16, article 142, 2019. doi: 10.1186/s12984-019-0612-y.
- [7] N. Jalloul, "Wearable sensors for the monitoring of movement disorders," *Biomedical journal*, vol. 41, pp. 249-253, 2018. doi: 10.1016/j.bj.2018.06.003.
- [8] F. Horak et al., "Movement monitoring system and apparatus for objective assessment of movement disorders," U.S. patent US2011/0213278A1, Sept. 01, 2011.
- [9] T. Paternostro-Sluga et al., "Reliability and validity of the Medical Research Council (MRC) scale and a modified scale for testing muscle strength in patients with radial palsy," *Journal of Rehabilitation Medicine*, vol. 40(8), pp. 665-671, 2008. doi: 10.2340/16501977-0235.
- [10] N. Reese, and W. Bandy, *Joint range of motion and muscle length testing*. Elsevier Health Sciences, 2010.
- [11] J.M. McGowen, C.W. Hoppes, J.S. Forsse, S.R. Albin, J. Abt, and S.L. Koppenhaver, "The Utility of Myotonometry in Musculoskeletal Rehabilitation and Human Performance Programming," *Journal of Athletic Training*, vol. 58(4), pp. 305-318, 2023. doi: 10.4085/616.21.
- [12] A. Van de Winckel, H. Feys, N. Lincoln, and W. De

- Weerdt, "Assessment of arm function in stroke patients: Rivermead Motor Assessment arm section revised with Rasch analysis," *Clinical Rehabilitation*, vol. 2(5), pp. 471-479, 2007. doi: **10.1177/0269215507071783**.
- [13] C. Collin, and D. Wade, "Assessing motor impairment after stroke: a pilot reliability study," *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, vol. 53 (7), pp. 576-579, 1990. doi: **10.1136/jnnp.53.7.576**.
- [14] D.J. Gladstone, C.J. Danells, and S.E. Black, "The Fugl-Meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties," *Neurorehabilitation and Neural Repair*, vol. 16(3), pp. 232-240, 2002. doi: **10.1177/154596802401105171**.
- [15] J.D. Schaechter et al., "Motor Recovery and Cortical Reorganization after Constraint-Induced Movement Therapy in Stroke Patients: A Preliminary Study," *Neurorehabilitation and Neural Repair*, vol. 16(4), pp. 326-338, 2002. doi: **10.1177/154596830201600403**.
- [16] N. Chino, S. Sonoda, K. Domen, E. Saitoh, and A. Kimura, "Stroke Impairment Assessment Set (SIAS)," *The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine*, Vol. 31(2), pp. 119-125, 1994. doi: **10.2490/jjrm.31.119**.
- [17] K. Miyata, S. Tamura, S. Kobayashi, R. Takeda, and H. Iwamoto, "Balance Scale is a Valid Measure for Plan Interventions and for Assessing Changes in Postural Balance in Patients with Stroke," *Journal of Rehabilitation Medicine*, vol. 54, 2022. doi: **10.2340/jrm.v54.4443**.
- [18] A. Homola, "Methods of examination in physical therapy, and occupational therapy of people after stroke (clinical case)," *Ukrainian Scientific Medical Youth Journal*, iss. 1(144), pp. 151-161, 2024. doi: **10.32345/USMYJ.1(144).2024.151-161**.
- [19] T. Jarm, P. Kramar, and A. Županič, "Rating Stroke Patients Based on Movement Analysis," in *Proc. of the 11th Mediterranean Conf. on Medical and Biomedical Engineering and Computing*, Ljubljana, Slovenia, June 26-30, 2007, pp. 266-269. doi: **10.1007/978-3-540-73044-6\_66**.
- [20] E.V. Olesh, S. Yakovenko, and V. Gritsenko, "Automated Assessment of Upper Extremity Movement Impairment due to Stroke," *Plos One*, vol. 9(8), article e104487, 2014. doi: **10.1371/journal.pone.0104487**.
- [21] L. Panella, A. Buizza, R. Lombardi, G. Beltrami, and R. Gandolfi, "A motor function test system," IT patent WO2005/039412A1, May 06, 2005.
- [22] A.S. Ahuja, "The impact of artificial intelligence in medicine on the future role of the physician," *PeerJ*, vol. 7, article e7702, 2019. doi: **10.7717/peerj.7702**.
- [23] V.H. Buch, I. Ahmed, and M. Maruthappu, "Artificial intelligence in medicine: current trends and future possibilities," *British Journal of General Practice*, vol. 68 (668), pp. 143-144, 2018. doi: **10.3399/bjgp18X695213**.
- [24] Extensor Muscles vs. Flexor Muscles. What's the Difference? [Online]. Available: <https://thisvsthat.io/extensor-muscles-vs-flexor-muscles>. Accessed on: August 01, 2025.
- [25] Difference Between Flexor and Extensor Muscles. [Online]. Available: <https://testbook.com/key-differences/difference-between-flexor-and-extensor-muscles>. Accessed on: August 01, 2025.
- [26] A muscle for bending a body part. [Online]. Available: [https://beregbud.com/myaz-dlya-zginannya-chastinita/#google\\_vignette](https://beregbud.com/myaz-dlya-zginannya-chastinita/#google_vignette). Accessed on: August 01, 2025.
- [27] S.M. Vinnychuk, *Sudynni zakhvoriuvannia holovnoho ta spynnoho mozku* [Vascular diseases of the brain and spinal cord]. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka Publ., 1999. (Ukr.)
- [28] M.I. Vovk, and O.A. Kutsyak, "Software module for personal diagnostics of motor functions after stroke," *Cybernetics and Computer Engineering*, vol. 198(4), pp. 62-77, 2019. doi: **10.15407/kvt198.04.062**.
- [29] M.I. Vovk, and O.A. Kutsyak, "Information technology for forming a personal movement rehabilitation plan after a stroke," *Cybernetics and Computer Engineering*, vol. 201(3), pp. 87-99, 2020. doi: **10.15407/kvt201.03.087**.
- [30] Ashworth Scale / Modified Ashworth Scale. Rehabilitation Measures Database. [Online]. Available: <https://www.sralab.org/rehabilitation-measures/ashworth-scale-modified-ashworth-scale>. Accessed on: August 01, 2025.
- [31] M.I. Vovk, and O.A. Kutsyak, "AI-technology of motor functions diagnostics after a stroke," *Cybernetics and Computer Engineering*, vol. 2 (204), pp. 84-100, 2021. doi: **10.15407/kvt204.02.084**.

Стаття надійшла 10.11.2025

Стаття прийнята 30.11.2025

Стаття опублікована 29.12.2025

**Цитуйте цю статтю як:** Куцяк О. А., Пезенцалі Г. О., Крищанович М. Ю. Проектування інформаційної системи діагностування рухової активності «МТест». *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Вип. 52. С. 64-74. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.52.2025.350993>.