Міністерство освіти і науки України

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

Кафедра фізичної терапії, ерготерапії та здоров'я

«До захисту допускаю»

завідувач кафедри фізичної терапії, ерготерапії та здоров'я

доктор педагогічних наук, професор

_____ Г.Д.Кондрацька « »_____2026 р.

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ РОБОТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ У РЕАБІЛІТАЦІЇ ПОСТІНСУЛЬТНИХ ПАЦІЄНТІВ З УРАЖЕННЯМ ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ

Спеціальність 227 Терапія та реабілітація

Спеціалізація 227.01 Фізична терапія

Магістерська робота

на здобуття кваліфікації – Магістр терапії та реабілітації за спеціалізацією «Фізична терапія»

Автор роботи: Музика Олег Іванович

_____

підпис

Науковий керівник: доктор медичних наук,

професор Ружило Софія Василівна _____

підпис

Дрогобич, 2026

Захист магістерської роботи

Використання сучасних роботизованих пристроїв у реабілітації постінсультних пацієнтів з ураженням верхньої кінцівки

Оцінка за стобальною шкалою:_____

Оцінка за національною чотирибальною шкалою:_____

Коротка мотивація захисту:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____ Голова ЕК_____ _____

Дата підпис прізвище, ім'я

Секретар ЕК_____ _____

підпис прізвище, ім'я

Використання сучасних роботизованих пристроїв у реабілітації постінсультних пацієнтів з ураженням верхньої кінцівки

Анотація

У роботі науково обґрунтовано та впроваджено алгоритм реабілітаційного втручання, що поєднує методики мануальної фасилітації (PNF, Бобат) із послідовним високоінтенсивним роботизованим тренуванням. Встановлено, що використання біологічного зворотного зв'язку в реальному часі на апаратах MOTOmed viva 2 та Syrebo дозволяє достовірно покращити силове дозування, координацію та селективність рухів пальців і всієї верхньої кінцівки.

Результати дослідження підтвердили статистично значущу перевагу авторської програми: приріст за шкалою Фугл-Мейєра (FMA-UE) в основній групі склав 14,2 бала проти 6,3 бала у контрольній групі ($p < 0,01$). Практичне значення роботи полягає у розробці конкретних клінічних рекомендацій щодо впровадження робототехнічних технологій та алгоритмів «допомоги за потреби» в практику фізичного терапевта для максимізації побутової незалежності пацієнтів.

Ключові слова: *фізична терапія, мозковий інсульт, верхня кінцівка, роботизована реабілітація, MOTOmed, Syrebo, біологічний зворотний зв'язок, нейропластичність, Assistance-as-Needed.*

Annotation

The thesis scientifically substantiates and implements a rehabilitation intervention algorithm that combines manual facilitation techniques (PNF, Bobath) with sequential high-intensity robotic training. It was established that the use of real-time biofeedback via MOTOmed viva2 and Syrebo devices significantly improves force dosing, coordination, and selectivity of finger and upper limb movements.

The results of the study confirmed a statistically significant advantage of the author's program: the increase in the Fugl-Meyer Assessment (FMA-UE) in the

main group was 14.2 points compared to 6.3 points in the control group ($p < 0.01$). The practical significance of the work lies in the development of specific clinical recommendations for implementing robotic technologies and "Assistance-as-Needed" algorithms into the practice of a physical therapist to maximize patients' functional independence in daily life.

Keywords: *physical therapy, stroke, upper limb, robotic rehabilitation, MOTOmed, Syrebo, biofeedback, neuroplasticity, Assistance-as-Needed.*

ЗМІСТ

ВСТУП……10
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІЙ ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ ПІСЛЯ ІНСУЛЬТУ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)……15
1.1. Анатомо-функціональні порушення верхньої кінцівки та їх вплив на обмеження життєдіяльності (за МКФ)……15
1.2. Сучасні концепції нейрореабілітації та інтенсивність, специфічність завдань та моторне навчання……19
1.3. Роботизована терапія як інструмент підсилення втручань фізичного терапевта……23
РОЗДІЛ 2. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ……26
2.1. Організація дослідження……26
2.2. Методи дослідження……..29
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ВТРУЧАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПІСЛЯ ВТРУЧАННЯ……33
3.1.Структура комплексної програми фізичної терапії із застосуванням роботизованих систем……..34
3.2. Аналіз динаміки показників моторного відновлення верхньої кінцівки……..39
ВИСНОВКИ……..46
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ФІЗИЧНИХ ТЕРАПЕВТІВ……..48
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ……..50
ДОДАТКИ……..56

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КГ – контрольна група

МКФ – Міжнародна класифікація функціонування, обмеження життєдіяльності та здоров’я

ОГ – основна група

FAT– тест руки Френчай

FMA-UE – шкала Фугл-Мейєра

MAS – модифікована шкала Ешворта

PNF – пропріоцептивна нервово-м’язова фасилітація

VR – віртуальна реальність

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогодні проблема тривалої інвалідизації осіб, які перенесли гостре порушення мозкового кровообігу, залишається одним із найбільш критичних і фінансово обтяжливих викликів для системи охорони здоров'я України [13]. Серед усього спектра неврологічних дефіцитів рухові розлади верхньої кінцівки відзначаються особливою стійкістю. Саме вони найчастіше стають причиною глибокої дезадаптації пацієнта, позбавляючи його базової незалежності у побуті [11].

Традиційні підходи до фізичної терапії мають суттєве практичне обмеження – вони залежать від фізичного ресурсу фізичного терапевта і не здатні забезпечити ту критичну масу багато центрових, однотипних повторень, яка необхідна для запуску стійких механізмів нейропластичності [22, 24]. З огляду на це, впровадження у клінічну практику роботизованих асистентів розглядається як найбільш прогресивний вектор подолання так званого «моторного плато» [26, 28].

Сучасна концепція відновлення функцій кисті зазнала кардинальних змін завдяки появі систем «м'якої робототехніки» [9]. Пневматичні тренажери-рукавички, на відміну від жорстких екзоскелетів попередніх поколінь, здатні генерувати фізіологічно природну траєкторію рухів, що мінімізує ризик мікротравматизації суглобів при вираженому спастичному гіпертонусі [37]. Клінічна практика доводить, що регулярні сесії із застосуванням технологій типу Syrebo демонструють виражений терапевтичний ефект навіть у пацієнтів із масивними вогнищами ураження, зокрема за умов інфаркту в басейні середньої мозкової артерії [35]. Водночас максимальний ефект досягається лише тоді, коли апаратний вплив інтегрується у гнучкі, синергічні програми, адаптовані під конкретний етап захворювання [29].

Наукові публікації останніх років чітко вказують на те, що механізоване тренування з інтегрованим віртуальним середовищем за своєю ефективністю нерідко випереджає ізольоване використання методів

центральної нейростимуляції чи стандартної лікувальної гімнастики [3, 42]. При цьому ключовими аспектами успіху виступають не просто технічні параметри самих комплексів, а вивірене дозування, частота сесій та будова реабілітаційного циклу, що чітко простежується у масштабних мета-аналізах 2025 року [2].

Роботизовані комплекси не можна розглядати як прості механічні маніпулятори для пасивного розроблення суглобів. Вони є потужним тригером для реорганізації кортикальних зв'язків та відновлення балансу міжпівкульної взаємодії головного мозку завдяки безперервному потоку аферентної імпульсації [5, 7]. Результати багато рандомізованих досліджень підтверджують, що пацієнти з важким парезом руки демонструють значно вищу динаміку відновлення моторного контролю та маніпулятивної здатності кисті, якщо в їхній програмі застосовувався комбінований підхід із залученням асистивних роботизованих технологій [4, 32].

Таким чином, об'єктивна потреба у модернізації існуючих реабілітаційних протоколів, стандартизації навантажень та впровадженні високоефективних технологій з біологічним зворотним зв'язком визначає вибір теми нашого дослідження та її актуальність.

Об'єкт дослідження – процес фізичної терапії пацієнтів після інсульту з руховим дефіцитом верхньої кінцівки та особливості їхнього моторного відновлення.

Предмет дослідження – динаміка показників м'язової сили, спастичності, об'єму активних рухів та загальної маніпулятивної функції руки під впливом індивідуалних програм із використанням роботизованих пристроїв.

Мета дослідження – науково обґрунтувати, розробити та оцінити ефективність інтеграції сучасних роботизованих технологій у систему комплексної фізичної терапії для оптимізації відновлення моторних функцій верхньої кінцівки та покращення життєдіяльності постінсультних пацієнтів.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасний стан науково-теоретичної бази, світові тенденції та міжнародні клінічні настанови щодо використання роботизованих систем у відновленні рухових розладів руки після інсульту.
2. Визначити вихідний рівень неврологічного дефіциту, біомеханічних обмежень та ступеня функціональної залежності пацієнтів досліджуваних груп за допомогою стандартизованих міжнародних шкал.
3. Розробити та впровадити диференційовану програму фізичної терапії, побудовану на поєднанні традиційних мануальних технік та інтенсивних роботизованих тренувань.
4. Оцінити характер та достовірність змін рухових показників верхньої кінцівки у процесі реалізації запропонованого підходу.
5. Науково обґрунтувати вплив роботизованих тренувань на рівень побутової адаптації, якість виконання повсякденних завдань та загальну незалежність пацієнтів.

Методи дослідження:

- ***Теоретичні:*** системний аналіз, узагальнення та порівняння даних науково-методичної літератури, медичних баз даних (PubMed, PEDro, Cochrane Library) та міжнародних клінічних настанов (AHA/ASA) [43].
- ***Педагогічні та клінічні:*** метод експериментального спостереження, збір анамнезу, тестування рухових навичок під час виконання цілеспрямованих функціональних завдань.
- ***Біомеханічні та цифрові апаратні методи*:** реалізовувалися за допомогою інтегрованої комп'ютеризованої сенсорної системи роботизованого комплексу Syrebo. Завдяки цифровій об'єктивізації здійснювався безперервний прецизійний моніторинг активної сили стискання кисті (фіксація результатів у Ньютонах, N) та амплітуди ізольованого згинання і розгинання пальців у суглобах (у градусах, °).
- ***Стандартизовані міжнародні клінічні шкали та тести*:**

- ✓ *Шкала Фугл-Мейєра (Fugl-Meyer Assessment, FMA-UE)* застосовувалася для детального покрокового кількісного аналізу ступеня моторного відновлення верхньої кінцівки, вольового контролю та швидкості рухів.
- ✓ *Тест руки Френчай (Frenchay Arm Test, FAT)* використовувався для об'єктивної оцінки функціональних захватів (циліндричного, щипкового, ключового) та маніпулятивної здатності ураженої кисті під час виконання базових побутових завдань.
- ✓ *Модифікована шкала Ешворта (Modified Ashworth Scale, MAS)* застосовувалася для динамічного моніторингу рівня спастичності та м'язового тонусу в суглобах ураженої кінцівки.
- ***Методи математичної статистики:*** комп'ютерна обробка цифрових масивів даних, перевірка нормальності розподілу, застосування параметричних (критерій Стьюдента) та непараметричних (критерій Вілкоксона) статистичних методів для встановлення достовірності отриманих результатів реабілітації.

Наукова новизна. У роботі вперше здійснено комплексне вивчення та кількісне оцінювання динаміки відновлення функціонального комплексу «рука-кисть» у пацієнтів у постінсультному періоді шляхом синергетичного поєднання засобів класичної фізичної терапії та занять на роботизованих тренажерах нового покоління. Набуло подальшого розвитку наукове обґрунтування використання систем із біологічним зворотним зв'язком як патогенетичного методу пригнічення спастичного гіпертонусу та стимуляції ізольованих рухових актів. Доведено наявність прямого кореляційного зв'язку між параметрами інтенсивності (кількістю апаратних повторень рухів) та швидкістю регенерації маніпулятивних можливостей кисті та пальців.

Практичне значення. Створено та впроваджено чіткий практичний алгоритм інтеграції роботизованих пристроїв у загальну структуру реабілітаційного процесу. Ця схема враховує час, що минув від початку

судинної катастрофи, та вихідний рівень локомоторних можливостей пацієнта за результатами тестування Фугл-Мейєра. Сформульовано диференційовані методичні рекомендації для фахівців із фізичної терапії щодо режимів навантаження та критеріїв прогресії вправ на роботизованих системах.

Апробація результатів дослідження. Основні теоретичні положення та практичні результати наукового дослідження були представлені, обговорені на звітній науковій конференції кафедри фізичної терапії, ерготерапії та здоров'я (22 квітня 2026 року, м. Дрогобич).

Структура роботи. Магістерська робота викладена на 59 аркушах друкованого тексту, містить 7 таблиць, 10 рисунків і 1 додатку. Складається з вступу, трьох розділів, висновків і списку використаної літератури.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІЙ ВЕРХНЬОЇ КІНЦІВКИ ПІСЛЯ ІНСУЛЬТУ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

1.1. Анатомо-функціональні порушення верхньої кінцівки та їх вплив на обмеження життєдіяльності (за МКФ)

Клінічна картина гострого порушення мозкового кровообігу майже завжди супроводжується глибокою дезорганізацією рухової сфери. Руйнування кіркових центрів та провідних шляхів призводить до втрати вибіркового контролю, розладу координаційних механізмів, зниження тактильної й пропріоцептивної чутливості, а також втрати спритності рухів пальців. Ці дефекти кардинально обмежують здатність людини до базового самообслуговування.

Згідно з епідеміологічними даними, близько 80% осіб, що перенесли гострий інсульт, стикаються із моторним дефіцитом саме у верхній кінцівці [13]. При цьому довгостроковий прогноз залишається невтішним, адже у половини пацієнтів, які мали виражені рухові і проблеми у перші тижні після судинної катастрофи, стійкі порушення функцій руки зберігаються навіть через 4 роки. Головним прогностичним маркером у цьому випадку виступає початкова глибина неврологічного пошкодження. Пацієнти, які на старті реабілітації демонструють тотальну плегію або глибокий парез дистальних відділів руки, мають мінімальні шанси на спонтанне клінічне відновлення, що справляє довготривалий деструктивний вплив на загальну якість їхнього повсякденного життя [32].

Сучасна реабілітаційна наука розглядає функціональний статус руки не як ізольовану біомеханічну константу, а як ключовий чинник соціальної та побутової автономії людини. Методологічним інструментом для такого аналізу є концепція Міжнародної класифікації функціонування, обмеження життєдіяльності та здоров'я (МКФ) [36]. Спираючись на її принципи, наслідки інсульту трактують через призму динамічної взаємодії між патологічним станом та контекстуальними (персональними й

середовищними) факторами. У практиці фізичної терапії впровадження МКФ ознаменувало перехід від класичної медичної моделі до біопсихосоціального підходу, де кінцевою метою є не просто нормалізація м'язового тонусу, а відновлення залученості людини у суспільне життя [29].

Рівень функцій та структур організму (b, s)

На першому рівні будови МКФ фіксуються первинні неврологічні дефекти та вторинні структурні зміни, викликані пошкодженням центрального мотонейрона. Ці порушення класифікують за відповідними доменами:

- **Порушення сили м'язів (код b730).** Центральний парез призводить до вираженої слабкості м'язів кінцівки, причому дефіцит має виражений дистальний градієнт. Найбільше страждають кисть та пальці, що безпосередньо пов'язано з великою площею їх соматотопічного представництва в первинній моторній корі та дефіцитом прямих кортико-мотонейронних зв'язків після катастрофи. Нездатність до селективної активації окремих м'язових груп стає головним бар'єром для виконання точних маніпуляцій [43].
- **Порушення м'язового тонусу (код b735).** Після початкової стадії діашизу та м'язової гіпотонії починає формуватися спастичність. Патологічна гіперактивність рефлексів на розтягнення та дисбаланс супраспінального гальмування призводять до формування стійкої флексорної установки кінцівки – класичної пози Верніке-Манна [21]. Приведення плеча у поєднанні з пронацією та згинанням передпліччя й кисті блокує будь-які спроби цілеспрямованого руху.
- **Порушення контролю добровільних рухів (код b760)** проявляється у вигляді грубих патологічних синергій – жорстких, стереотипних моторних шаблонів. Пацієнт втрачає здатність ізолювати рухи у різних суглобах. Наприклад, спроба витягнути руку вперед для захоплення предмета автоматично запускає флексорну синергію (мимовільне

згинання у ліктьовому суглобі та підняття надпліччя), що повністю унеможливлює функціональне досягання об'єкта.

- **Сенсорні дефіцити (коди b260–b270).** Пошкодження таламо-кортикальних шляхів порушує пропріоцепцію (м'язово-суглобове відчуття) та призводить до втрати стереогнозу – здатності розпізнавати предмети на дотик без візуального контролю. Навіть за умови часткового збереження м'язової сили така кінцівка стає «функціонально сліпою», оскільки мозок не отримує адекватного зворотного зв'язку про її положення у просторі [34].
- **Структури верхньої кінцівки (s730)** виступали безпосереднім анатомічним об'єктом нашого фізичного втручання (рука від плечового поясу до кінчиків пальців), де через пошкодження рухових центрів головного мозку відбулося порушення провідності нервових імпульсів.

Рівень активності та участі (d)

Первинні збої на рівні фізіологічних функцій неминуче трансформуються в обмеження активності (виконання конкретних дій) та звуження участі (реалізації соціальних ролей):

- **Маніпулювання об'єктами (код d440).** Цей домен відображає здатність до виконання тонких маніпуляцій кистю. Втрата щипкового, циліндричного чи сферичного захватів, а також труднощі з дозованим випусканням предмета роблять неможливими такі базові дії, як утримання ложки, відкривання замків ключів, письмо чи взаємодія з мобільним телефоном.
- **Самообслуговування (коди d510–d540).** Неможливість інтегрувати уражену руку в процеси вмивання, одягання чи догляду за собою різко знижує автономію пацієнта. Такі завдання, як застібання ґудзиків або зав'язування шнурків, вимагають делікатної координації, і їх невиконання швидко перетворює людину на залежну від сторонньої допомоги, що є сильним тригером для розвитку депресивних станів та соціальної самоізоляції [3].

- **Побутове життя (коди d630–d640).** Більшість повсякденних домашніх справ (приготування їжі, прання, прасування, прибирання) є за своєю природою бімануальними актами, де одна рука утримує чи фіксує предмет, а інша здійснює маніпуляцію. Постінсультний парез виключає пошкоджену кінцівку з цього процесу. Як наслідок, пацієнт або повністю відмовляється від ведення господарства, або намагається компенсувати дефіцит виключно за рахунок здорової руки.

Феномен «навченого невикористання» та роль середовища

Аналізуючи фактори середовища у контексті МКФ, особливу увагу слід приділити патологічній адаптації нервової системи. Коли пацієнт під час щоденних спроб стикається з невдачами при залученні паретичної кінцівки, у нього формується стійка поведінкова модель – феномен «навченого невикористання» [11]. Центральна нервова система починає ігнорувати уражену руку, блокуючи її представництво у моторній корі.

Це запускає деструктивне порочне коло (рис.1) і тривала бездіяльність кінцівки призводить до вторинних структурних ускладнень – прогресуючої атрофії м'язових волокон, фіброзу та формування стійких суглобових контрактур. Обмеження життєдіяльності через це лише поглиблюються.

Сучасна концепція роботизованої терапії спрямована саме на розрив цього патологічного ланцюга. Забезпечуючи високу інтенсивність і правильну біомеханічну траєкторію рухів, роботизовані пристрої примусово активують пошкоджені структури на рівні функцій, створюючи нейрональну основу для подальшого відновлення активності пацієнта у повсякденному житті [2, 9].

Рис.1. Патогенетичне коло формування дефіциту верхньої кінцівки та обмеження життєдіяльності пацієнта (за МКФ)

1.2. Сучасні концепції нейрореабілітації та інтенсивність, специфічність завдань та моторне навчання

В основі сучасної нейрореабілітаційної парадигми лежить фундаментальний, експериментально доведений факт, що головний мозок у людини не є статичною структурою, він зберігає високий потенціал до функціональної та анатомічної перебудови локомоторних мереж протягом усього онтогенезу. Проте у практиці відновлення рухових функцій верхньої кінцівки після перенесеної судинної катастрофи нейропластичність не розгортається спонтанно. Для запуску структурних змін потрібне цілеспрямоване й контрольоване зовнішнє керування, яке реалізується за допомогою методологічно правильних алгоритмів моторного навчання [20].

Нейрофізіологія інтенсивності та повторюваності. Об'єм і щільність локомоторних повторень є головними біологічними рушіями синаптичної реорганізації. Щоб запустити стійкі відновлювальні процеси, нервова система має пройти складний шлях трансформації від феноменів короткочасної пластичності, що виражаються у тимчасовому локальному посиленні синаптичної передачі, до стійкої довготривалої потенціації [2]. На клітинному рівні цей перехід забезпечується інтенсивним синтезом специфічних білкових сполук та генезом нових дендритних шипиків.

Клінічні дослідження останніх років дозволили сформулювати концепцію так званого «порогу ефективності» [22]. Справа в тому, що існує певна критична межа кількості моторних повторень, нижче якої нейропластичні патерни просто не здатні закріпитися в корі.

Коли йдеться про реабілітацію пацієнтів із глибокими ураженнями руки, цей кількісний поріг є надзвичайно високим. Традиційні госпітальні сесії фізичної терапії зазвичай не здатні його досягти через брак часу та швидку втому персоналу.

Саме тут стає очевидною головна перевага сучасних технологій. Використання інноваційних роботизованих комплексів дозволяє пацієнтові виконувати сотні й тисячі ітерацій суворо дозованого, цілеспрямованого руху в межах одного заняття [21]. Фізичний терапевт при цьому звільняється від важкої мануальної праці й виступає в ролі ментора та супервізора. Пацієнт же отримує саме те кумулятивне навантаження, яке здатне викликати реальну перебудову моторної кори головного мозку [27].

Поруч із фактором інтенсивності критично важливим є характер самого завдання. Базовий принцип специфічності навчання стверджує, що будова та вектор нейропластичних змін безпосередньо копіюють біомеханічні особливості рухових вправ. Поодинокі, ізольовані рухи в одному окремому суглобі, наприклад рутинне згинання передпліччя, мають слабкий і нестійкий вплив на кортикальну перебудову. Мозок значно активніше відгукується на

багатосуглобові, комплексні рухові акти, які мають чітке фінальне цілепокладання.

Наближеність вправ до реального життя діє як потужний прискорювач відновлення. Рухове перенавчання дає значно кращий результат, якщо воно повністю відтворює або детально імітує звичайні щоденні справи:

- дотягування до предмета та утримання склянки;
- поворот дверної ручки;
- маніпуляції з дрібними побутовими об'єктами (ключами, монетами тощо).

Сучасні роботизовані системи, поєднані з віртуальною реальністю (VR), створюють цікаве та інтерактивне середовище для тренувань [3]. Завдяки ігровій формі та візуальним підказкам мозок залучає до роботи не лише пошкоджені рухові центри, а й сусідні зони – премоторну кору та додаткову моторну область. Такий обхідний шлях є критично важливим при важких інсультах, коли основні рухові нервові шляхи зазнали сильного руйнування, і пацієнту потрібно вчитися керувати рукою фактично заново.

Застосування роботизованих систем із біологічним зворотним зв'язком у гострому та підгострому періодах дозволяє значно прискорити регрес неврологічного дефіциту [10]. Більше того, унікальні апаратні звіти фіксують позитивні структурні та функціональні зрушення у церебральній нейродинаміці навіть у пацієнтів у віддаленому періоді після перенесеного інсульту [30].

Етапи моторного навчання та зворотний зв'язок

Процес моторного перенавчання постінсультних пацієнтів підпорядкований класичній трифазній моделі Фіттса та Познера. Кожен етап цього процесу висуває специфічні вимоги до побудови програми фізичної терапії [20]:

1. **Когнітивна фаза.** Пацієнт лише намагається усвідомити механіку нового для нього рухового акту, шукаючи відповідь на питання «що і як потрібно зробити». На цьому етапі вирішальну роль відіграє

масивний зовнішній зворотний зв'язок, а саме чіткі словесні вказівки фізичного терапевта та яскраві візуальні або аудіосигнали, що генеруються апаратом.

2. **Асоціативна фаза.** Пацієнт уже сформував базовий моторний шаблон і працює над оптимізацією руху – шукає відповідь на питання «як виконати дію якісно». Кількість грубих помилок помітно знижується, рухи стають плавнішими. У цей період роботизований комплекс має поступово й плавно зменшувати рівень своєї механічної підтримки, змушуючи нервову систему працювати самостійно.
3. **Автономна фаза.** Рухова навичка досягає рівня автоматизму. Пацієнт успішно реалізує рух у просторі, не концентруючись на окремих його фазах або біомеханічних елементах.

Фундаментом для такої еволюції навички є біологічний зворотний зв'язок. Інтелектуальні датчики роботизованих систем забезпечують миттєву, мікросекундну фіксацію помилок щодо траєкторії, сили захвату чи точності досягання цілі [24]. Отримання цих даних дозволяє центральній нервовій системі пацієнта самостійно порівнювати реальний результат із запланованим моторним образом, що запускає механізми активного самонавчання.

Концепція «Assistance-as-Needed» (допомога за потреби)

Сучасна філософія фізичної терапії повністю заперечує ефективність пасивної, суто механічної розробки паретичної кінцівки. Якщо апарат просто рухає абсолютно пасивну руку пацієнта за заданим шаблоном, мозок швидко виключається з процесу, сприймаючи рух як сторонній шум, що зводить терапевтичний ефект до нуля.

Клінічний стандарт «допомоги за потреби» базується на принципі інтелектуального мінімалізму, тобто роботизований пристрій розраховує та надає лише той мінімальний об'єм механічної підтримки, без якого пацієнт об'єктивно не зможе завершити рухову дію (рис.2).

Рис.2. Блок-схема алгоритму роботизованої системи за концепцією «Assistance-as-Needed»

Такий алгоритм надійно запобігає розвитку «апаратної залежності» та постійно стимулює генерацію свідомого вольового зусилля [1]. З точки зору нейробіології, саме усвідомлена спроба здійснити рух є біологічним тригером для експресії нейротрофічного фактора мозку (*BDNF*). Цей протеїн стимулює виживання нервових клітин, захищає їх від апоптозу та безпосередньо каталізує аксоногенез у зонах перифокальної кори [1, 20].

1.3. Роботизована терапія як інструмент підсилення втручань фізичного терапевта

Впровадження інноваційних роботизованих комплексів у практику сучасної нейрореабілітації в жодному разі не слід порівнювати з механічною заміною чи витісненням людини з професії. Мова йде про закономірну еволюцію ролі фахівця. Роботизовані пристрої сьогодні позиціонуються як високоефективний інструмент підсилення локомоторних втручань. Вони дозволяють фізичному терапевту вийти за межі суто біологічних обмежень людського організму – таких як фізична втома, монотонність праці чи

суб'єктивізм в оцінці рухів [28]. Апаратна підтримка гарантує стабільне та тривале забезпечення тієї критичної «дози» терапевтичних вправ, яка є обов'язковою для тривалого стимулювання нейропластичності [27].

Переваги підсилення терапевтичних втручань

Використання високотехнологічного обладнання дає фізичному терапевту змогу докорінно переформатувати будову реабілітаційної сесії, забезпечуючи низку суттєвих клінічних переваг:

- **Ізольоване керування ступенями свободи кінцівки.** Під час традиційного заняття фізичному терапевту вкрай важко мануально контролювати весь руховий ланцюг ураженої руки. Одночасно стабілізувати лопатку, запобігати патологічній девіації плеча, стежити за розгинанням у ліктьовому суглобі та скеровувати пальці кисті – завдання, що вимагає надзвичайних зусиль. Сучасні екзоскелетні системи (зокрема лінійки Armeo) (Рис.3) легко вирішують цю проблему [18]. Вони здатні зафіксувати чи розвантажити окремі суглобові сегменти. Завдяки цьому фізичний терапевт може зосередитися на тренуванні конкретної ізольованої ланки, або ж, навпаки, плавно переходити до моделювання складних просторових координаційних рухів [43].

Рис.3. Реабілітаційний комплекс для терапії верхніх кінцівок ARMEO SPRING

- **Висока прецизійність та реалізація принципу «Assistance-as-needed».** Сучасна світова практика відмовилася від пасивного, механічного розроблення суглобів. Вектор уваги змістився на свідоме залучення пацієнта до виконання рухового акту [12]. Клінічні випробування доводять, що короткострокові та довгострокові курси роботизованої асистенції суттєво зменшують параліч кисті [40]. Роботизований комплекс забезпечує гнучку асистенцію. Інтелектуальні сенсори фіксують навіть мінімальний початковий імпульс до руху, який генерує пацієнт, і делікатно допомагають довести руку по правильній біомеханічній траєкторії до цілі. Це суттєво посилює зворотний аферентний потік до центрів головного мозку, сигналізуючи про успішність зробленої спроби [29].
- **Об’єктивізація та візуалізація клінічних даних.** Замість традиційних і часто суб'єктивних оцінок на кшталт «рука стала дещо активнішою», фізичний терапевт отримує точні цифрові дані. На екрані монітора в реальному часі відображаються графіки активних зусиль, показники плавності траєкторії та коефіцієнт точності виконання завдань. Це дозволяє повноцінно реалізувати метод біологічного зворотного зв’язку. Коли пацієнт наочно бачить траєкторію власного руху на моніторі та фіксує навіть мікроскопічні успіхи, його мотивація до занять та рівень усвідомленості зростають у рази [4].

За останнє десятиліття було проведено кілька масштабних наукових проєктів, які змусили світову спільноту переосмислити місце технологій у реабілітації:

1. **Дослідження RATULS (2019).** Це найбільше в історії багатоцентрове рандомізоване контрольоване дослідження, організоване у Великій Британії, до якого залучили понад 700 пацієнтів із постінсультними парезами. Його результати переконливо довели, що тривалі роботизовані тренування суттєво покращують функціональні

можливості верхньої кінцівки [32]. Хоча за загальною ефективністю роботизований протокол показав схожі результати з надінтенсивними (але суто індивідуальними) програмами терапії руки, дослідники наголосили на важливому нюансі. Роботизований комплекс дозволяє підтримувати цей надвисокий рівень інтенсивності щодня протягом багатьох тижнів поспіль. Для живого фахівця такий темп роботи є фізично неможливим через швидке професійне вигорання та втому [31].

2. **Аналіз параметрів пристроїв та програм терапії.** Новітній метааналіз K. Boardsworth та співавторів (2025) детально продемонстрував, як особливості конструкції роботизованих пристроїв та конкретні параметри програм впливають на підсумкову терапевтичну ефективність [2]. Дослідження підтверджують, що асистуючі роботизовані системи, адаптовані до індивідуальних рухових можливостей пацієнта, демонструють значні переваги над ізольованою традиційною терапією [19]. Більше того, застосування роботизованих засобів у комплексі з функціональним силовим зворотним зв'язком дозволяє вибірково відновлювати пальцевий захват у пацієнтів із геміплегією [23].
3. **Ефективність м'яких роботизованих рукавичок (Soft Robotics).** Впровадження м'яких роботизованих рукавичок (типу Syrebo) кардинально змінило підходи до дистальної реабілітації [9]. Окремі клінічні випадки та пілотні дослідження доводять високу ефективність програми тренувань Syrebo у пацієнтів з інфарктом у басейні середньої мозкової артерії [35], а також підтверджують безпеку та результативність використання м'яких пневматичних екзорукавичок у пацієнтів із вираженими парезами [38, 42]. Застосування таких систем дозволяє суттєво оптимізувати міжпівкульну взаємодію та збалансувати функціональну зв'язність головного мозку [5], одночасно знижуючи рівень центральної рухової втоми пацієнтів [6].

4. **Роботизована локомоція та загальний статус пацієнта.** Варто зазначити, що роботизовані технології активно розвиваються і в напрямку відновлення нижніх кінцівок та ходьби. Дослідження доводять, що модульні та екзоскелетні системи для тренування ходьби позитивно впливають на просторово-часові параметри кроку, розподіл навантаження на кінцівки та загальний баланс [15, 16, 33, 41]. Це підтверджує системний характер впливу механотерапії на організм пацієнта. Загалом, при тяжких рухових розладах, роботизований тренінг рук виступає безальтернативним базисом реабілітації [17]. Бази даних також фіксують, що використання соціально-асистивних та ігрових роботів у довготривалій перспективі допомагає підтримувати високу залученість пацієнта до тренувань [14].
5. **Концепція глобального зсуву («The Big Shift»).** У провідних клініках США та Західної Європи наразі утвердилася нова філософська модель реабілітації [22]. Роботу та автоматизованим системам повністю делегують «рутинну», монотонну механічну частину роботи – виконання від 600 до 800 циклічних рухових повторень за одну сесію [25]. За таких умов фізичний терапевт звільняється від рутини й перетворюється на «архітектора руху». Його головне завдання тепер – глибокий аналіз отриманих з комп'ютера даних та швидка інтеграція напрацьованих апаратом локомоторних навичок у реальну повсякденну діяльність пацієнта, а саме у процеси самообслуговування, прийом їжі, письмо та особисту гігієну.

Делегація механічних завдань апарату кардинально розширює клінічні можливості фізичного терапевта безпосередньо під час заняття. Поки робот утримує паретичну руку пацієнта у правильному просторовому положенні та допомагає здійснювати рух, фахівець має змогу переключити свою увагу на інші, не менш важливі деталі реабілітаційного процесу (рис.4).

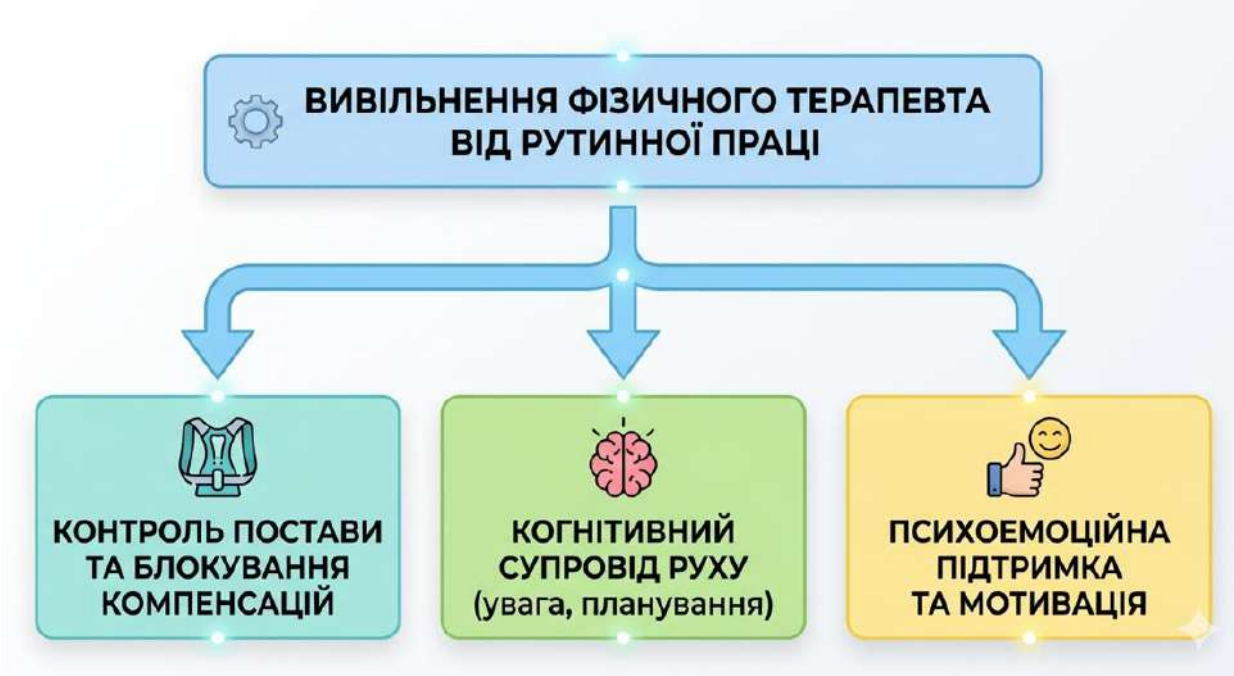

Рис. 4. Перерозподіл клінічних завдань фахівця за умов вивільнення від рутинного мануального навантаження

У такому форматі фізичний терапевт може одразу помітити й вчасно зупинити патологічні компенсаторні рухи тулубом або плечем, якими пацієнт зазвичай намагається підмінити роботу слабкої кисті. Крім того, з'являється можливість якісно пропрацювати когнітивну сторону руху: допомогти пацієнту сконцентруватися на завданні, заздалегідь спланувати наступну дію та краще усвідомити її результат. Зрештою, фахівець отримує змогу повноцінно здійснювати психологічний супровід та надавати емоційну підтримку, що під час тривалого й виснажливого процесу відновлення після інсульту є одним із ключових чинників успіху.

РОЗДІЛ 2. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Організація дослідження

Науково-практичне дослідження щодо ефективності роботизованих пристроїв у відновленні моторного контролю верхньої кінцівки у пацієнтів після інсульту реалізовувалося протягом 2024–2026 років і включало три етапи:

На першому етапі (вересень – грудень 2024 року) ми виконали підготовчу та теоретичну роботу. Спочатку детально вивчили сучасні міжнародні дослідження з нейрореабілітації у базах даних PubMed, PEDro та Cochrane Library. Головну увагу приділили протоколам фізичної терапії з доведеною ефективністю. Це допомогло чітко визначити об'єкт, предмет та робочу гіпотезу нашого дослідження. До кінця 2024 року ми остаточно підібрали комплекс тестів і шкал на основі МКФ для оцінки пацієнтів, а також обґрунтували, які саме роботизовані пристрої найкраще підійдуть для проведення високоінтенсивних тренувань.

На другому етапі, який тривав з січня 2025 року по жовтень 2025 року, ми провели практичну частину дослідження на базі реабілітаційного відділення з підрозділом амбулаторної допомоги «Дрогобицька міська лікарня №1» ДМР. Перед початком втручання ми провели первинний комплексний огляд кожного пацієнта для фіксації вихідного стану ураженої верхньої кінцівки за міжнародною шкалою Фугл-Мейєра (FMA-UE), тесту Френчай (FAT), модифікованою шкалою Ешворта (MAS), а також зафіксували початкові амплітудно-силові параметри кисті за допомогою стартових цифрових звітів сенсорної системи Syrebo.

Протягом цього періоду пацієнти основної групи проходили курс відновлення за розробленою нами комбінованою програмою. Вона органічно поєднувала класичні мануальні нейрофізіологічні методики (Бобат-терапію та пропріоцептивну нервово-м’язову фасилітацію – PNF) із послідовними високоінтенсивними тренуваннями на механотерапевтичному комплексі

MOTOmed viva2 та роботизованій рукавичці Syrebo. Під час занять ми постійно стимулювали усвідомлені зусилля пацієнта та налаштовували робота так, щоб він допомагав лише за потреби. Складність віртуальних завдань і рівень підтримки апарату змінювалися залежно від того, як покращувалися рухи людини. У жовтні 2025 року ми провели фінальне тестування, яке дозволило об'єктивно оцінити та порівняти результати реабілітації в обох групах.

На заключному третьому етапі (листопад 2025 – квітень 2026 року) ми аналізували та узагальнювали всі отримані результати. Спочатку зібрану інформацію систематизували. Після цього весь масив цифрових даних пройшов математико-статистичну обробку за допомогою програми STATISTICA. Завдяки статистичному аналізу ми змогли чітко порівняти, наскільки ефективнішою виявилася наша програма в основній групі порівнянні з контрольною. Також це допомогло виявити реальні закономірності між використанням роботів та швидкістю відновлення рухів у кисті й пальцях. Робота завершилася у квітні 2026 року. Ми детально інтерпретували всі наукові дані та сформулювали чіткі практичні рекомендації. Вони допоможуть практикуючим фізичним терапевтам правильно дозувати та впроваджувати роботизовані технології у сучасні протоколи реабілітації.

Характеристика контингенту та формування груп

Дослідження проводилося на базі реабілітаційного відділення з підрозділом амбулаторної допомоги «Дрогобицька міська лікарня №1» ДМР. У ньому взяли участь 24 пацієнти (14 чоловіків та 10 жінок) у пізньому підгострому та хронічному періодах після ішемічного інсульту.

Критерії включення:

1. Наявність геміпарезу верхньої кінцівки (ступінь 2 – 4 за шкалою Fugl-Meyer).
2. Стабільний соматичний стан (АТ < 160/100 мм рт. ст.).

3. Відсутність когнітивного дефіциту, що заважає виконанню команд (MMSE > 24).
4. Згода пацієнта на участь у дослідженні.

Пацієнти були розподілені на дві групи по 12 осіб (таблиця 1, рис.5):

Таблиця 1

Розподіл пацієнтів за ступенем рухового дефіциту (за Fugl-Meyer UE)

Група	**Помірний дефіцит (35–50 балів)**	**Виражений дефіцит (20–34 бали)**	**Усього**
Основна (ОГ)	7	5	12
Контрольна (КГ)	6	6	12

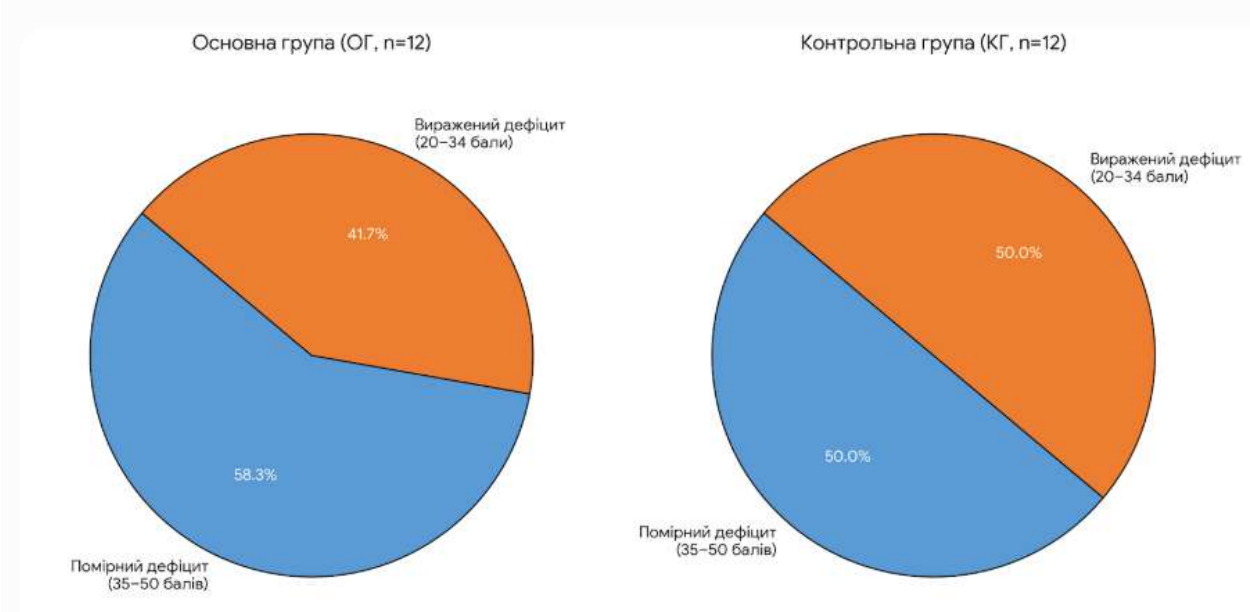

Рис.5. Розподіл пацієнтів за ступенем рухового дефіциту (за Fugl-Meyer UE)

- **Контрольна група (КГ)** отримувала традиційну фізичну терапію (30-45 хв.), що включала пасивно-активні вправи, методику PNF та навчання навичкам самообслуговування.

- **Основна група (ОГ)** отримувала комбіновану терапію, а саме 20 хв. традиційних вправ + 25 хв. тренування на роботизованому пристрої з використанням біологічного зворотного зв'язку (БЗЗ) та ігрової симуляції.

2.2. Методи дослідження

Для вирішення поставлених завдань та об’єктивного оцінювання динаміки відновлення функціональних показників верхньої кінцівки у пацієнтів у постінсультному періоді було використано комплексний підхід, що базується на доменах Міжнародної класифікації функціонування, обмежень життєдіяльності та здоров'я (МКФ).

1. Клініко-анамнестичний метод

- Збір загального анамнезу включав реєстрацію віку пацієнта, типу інсульту (ішемічний/геморагічний), локалізації вогнища ураження та тривалості післяінсультного періоду. Особлива увага приділялася аналізу попереднього реабілітаційного досвіду та наявності супутніх захворювань, що можуть впливати на толерантність до фізичних навантажень.
- Соціальний анамнез проводився для оцінки рівня побутової адаптації пацієнта до виниклого дефіциту. Це дозволило визначити ступінь залежності від сторонньої допомоги у повсякденному житті та сформувати індивідуальні цілі фізичної терапії.

2. Фізикальне обстеження та антропометрія

Під час обстеження пацієнтів дотримувалися системного підходу, характерного для діагностики в межах фізичної терапії:

- Візуальний огляд – оцінка положення ураженої кінцівки, наявності набряків, трофічних змін шкіри та типових патологічних синергій (наприклад, згинальної синергії руки).

- Пальпація та оцінка чутливості – вивчення стану м'язового тонусу, виявлення болючих точок та оцінка пропріоцептивної чутливості, що є критичним для успішної взаємодії з роботизованими системами.
- Порівняльна гоніометрія – вимірювання амплітуди активних та пасивних рухів у суглобах верхньої кінцівки (плечовому, ліктьовому, променево-зап'ястковому) з обов'язковим зіставленням із показниками здорової сторони.

3. Спеціалізовані стандартизовані методи діагностики

З метою об’єктивізації результатів застосування роботизованих пристроїв було обрано інструментарій із високим рівнем доказовості:

- **Шкала Фугл-Мейєра для верхньої кінцівки (FMA-U**E) – основний кількісний метод оцінки моторного відновлення. Шкала дозволяє оцінити рефлекторну активність, вольовий контроль рухів у межах синергій та поза ними, а також координацію і швидкість. Максимальний бал становить 66 і свідчить про повне відновлення моторної функції (додаток А).
- **Тест руки Френчай (Frenchay Arm Test, FAT)** – провідний метод оцінки функціональних захватів та маніпулятивної здатності кінцівки. Він включає 5 практичних завдань (маніпуляції зі склянкою, ключем, прищіпкою тощо), які імітують щоденну побутову діяльність (ADL). Максимальний бал становить 5 і свідчить про високий рівень дрібної моторики та успішну інтеграцію відновленого руху в повсякденне життя.
- **Модифікована шкала Ешворта (MAS)** – провідний метод для оцінки спастичності. Терапевт виконує пасивне розтягнення м’язів-згиначів передпліччя та кисті, фіксуючи рівень опору. Зниження бала за MAS є важливим показником успішності фізичної терапії у подоланні патологічного гіпертонусу.
- **Апаратна діагностика роботизованих систем: Syrebo**, **MOTOmed** та **Thera-Trainer** базується на використанні високочутливих вбудованих

датчиків, що дозволяють перетворити кожен сеанс реабілітації на точне клінічне дослідження. На відміну від традиційних візуальних оцінок, ці пристрої об’єктивно фіксують активну силу стискання кисті в Ньютонах, амплітуду рухів у градусах та точне співвідношення активної участі пацієнта щодо допомоги мотора. Системи моніторингу в реальному часі аналізують плавність траєкторії та швидкість реакції у віртуальних іграх, а також виявляють приховану спастичність або асиметрію зусиль між правою та лівою руками. Це дає змогу виявити мінімальний функціональний прогрес на ранніх етапах відновлення, який залишається непомітним для звичайних клінічних шкал, і забезпечує доказову базу для коригування індивідуальної програми реабілітації.

У таблиці 2 представлена відповідність методів діагностики рівням МКФ.

Таблиця 2

Відповідність методів діагностики рівням МКФ

Рівень МКФ	**Об’єкт оцінки**	**Рекомендований метод**
Функції та структури	М'язовий тонус	Модифікована шкала Ешворта (MAS)
	Моторний контроль	Шкала Фугл-Мейєра (FMA-UE)
	Амплітуда рухів	Гоніометрія
Активність	Функціональні захвати	Тест Френчай
	Маніпуляції з предметами	Роботизований моніторинг (БЗЗ)
Участь	Побутова незалежність	Індекс Бартел або шкала FIM

4. Методи математико-статистичного аналізу

Щоб підтвердити точність і надійність отриманих результатів, ми обробили всі цифрові дані методами математичної статистики. Для кожної групи вираховували середнє арифметичне значення (M) та стандартне відхилення (SD), які показують загальну тенденцію та розкид показників.

Для того щоб оцінити зміни всередині кожної групи (якою рука була до початку занять і якою стала після), ми використовували парний t-критерій Стьюдента або непараметричний W-критерій Вілкоксона.

Усі розрахунки та графіки ми виконували на комп'ютері за допомогою програм Microsoft Excel та STATISTICA. Статистично значущими й об'єктивними вважали ті результати, де рівень похибки був мінімальним ($p < 0,05$).

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ВТРУЧАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПІСЛЯ ВТРУЧАННЯ

3.1.Структура комплексної програми фізичної терапії із застосуванням роботизованих систем

Для відновлення моторної функції ураженої верхньої кінцівки у пацієнтів основної групи ми розробили та впровадили диференційовану реабілітаційну програму. В її основу покладено принципи високої щільності рухових повторень та цілеспрямованої специфічності завдань. Завдяки залученню механотерапевтичних та роботизованих комплексів нам вдалося забезпечити виконання від 180 до 360 точних циклічних рухів у межах однієї лікувальної сесії. Загальний курс реабілітації складався з 20 індивідуальних занять, які проводилися щодня. Тривалість одного заняття становила 60 хвилин.

Кожне окреме заняття мало чітку чотирикомпонентну структуру, яка дозволяла послідовно підготувати нервово-м'язовий апарат пацієнта, опрацювати проксимальні та дистальні сегменти руки, а потім інтегрувати отриманий результат у повсякденний побут. Наша програма була поділена на 4 етапи:

1.Етап нейрофізіологічної мануальної підготовки. Перші 20 хвилин заняття присвячувалися ручній підготовці суглобів та м'яких тканин ураженої кінцівки. Цей етап базувався на використанні концепції пропріоцептивної нервово-м’язової фасилітації (*PNF*).

З метою зниження патологічного флексорного тонусу та мобілізації лопатки ми активно застосовували техніку ритмічної ініціації руху та специфічні діагональні патерни для плечового поясу. Особливу увагу приділяли м'якому розтягненню спастичних м'язів-згиначів кисті та передпліччя. Така послідовність дозволила мінімізувати прояви спастичності й підготувати руку до подальшого апаратного блоку.

2.Роботизована терапія проксимальних відділів кінцівки. Наступні 15 хвилин заняття відводилися для відновлення рухового контролю над

плечовим та ліктьовим суглобами. На цьому етапі ми застосовували тренажер **MOTOmed viva2** (модуль для активної та пасивної розробки рук). Апарат налаштовували за концепцією «допомоги за потреби», тобто пацієнт намагався обертати педалі самостійно, а система підключала мікропроцесорний двигун і надавала делікатну механічну підтримку лише тоді, коли власних зусиль людини було недостатньо для завершення обертового циклу.

Для підвищення залученості пацієнта використовувалися вбудовані ігри-симулятори з когнітивним супроводом (наприклад, маневрування серед віртуальних перешкод на екрані). Вбудована система контролю симетрії дозволяла нам у реальному часі бачити на моніторі відсотковий розподіл зусиль між правою та лівою руками та оперативно коригувати намагання пацієнта підмінити рух слабкої руки поворотами всього тулуба.

3. Відновлення дрібної моторики з використанням біологічного зворотного зв'язку

Центральним за значенням блоком програми (тривалістю 15 хвилин) було відновлення функцій дистальних відділів – кисті та пальців. Для цього ми інтегрували в процес сенсорну роботизовану рукавичку Syrebo (модель серії SY-HR). У випадках глибокого геміпарезу ми впроваджували режим «дзеркального тренування». При цьому на здорову кисть пацієнта одягалася спеціальна сенсорна рукавичка-донор, а на уражену – безпосередньо робо-рукавичка. Коли пацієнт стискав здорову руку в кулак, пристрій миттєво зчитував імпульс і синхронно відтворював аналогічний рух на паретичній кисті. Це дозволяло активувати дзеркальні нейрони кори головного мозку та стимулювати премоторну зону.

У міру появи мінімальних активних рухів ми переводили пацієнта на ігрові сценарії з біологічним зворотним зв'язком. Пацієнт виконував завдання на тренування «ступеневого захоплення» предметів різного діаметру. Датчики рукавички Syrebo фіксували активну силу натискання в Ньютонах та точну амплітуду згинання кожного пальця у градусах. Завдяки цьому нам

вдалося об'єктивно реєструвати мінімальну позитивну рухову динаміку, яку неможливо виявити звичайними ручними гоніометрами.

4. Функціональна інтеграція та моніторинг результатів. Заключні 10 хвилин кожної сесії призначалися для безпосереднього трансферу (перенесення) напрацьованих апаратами рухових навичок у реальне життя. Фізичний терапевт пропонував пацієнту виконати побутові маніпуляції з реальними предметами, які за своєю формою та механікою копіювали щойно відпрацьовані віртуальні ігри. Пацієнти тренувалися:

- утримувати та переставляти пластикові пляшки з водою;
- брати зі столу та утримувати столове приладдя;
- маніпулювати великими губками та дрібними побутовими об'єктами (дверними ручками, ключами).

Кожне заняття завершувалося спільним переглядом цифрового звіту, який автоматично генерувала комп'ютерна система роботизованого комплексу. Наочна демонстрація графіків росту сили та точності рухів дозволяла пацієнту чітко усвідомлювати свій щоденний прогрес, що суттєво підвищувало внутрішню мотивацію до подальшої тривалої реабілітації.

Таблиця 3

Порівняльна характеристика параметрів реабілітаційного втручання

Параметр порівняння	**Традиційна програма (Контрольна група)**	**Авторська програма (Основна група)**
Технологічна база	Стандартний інвентар (гантелі, еспандери, м'ячі, блоки).	Роботизована рукавичка **Syrebo (SY-HR)** та тренажер **MOTOmed/Thera-Trainer**.
Інтенсивність (дозування)	Низька: 40–80 повторень за сесію через фізичну втому фахівця та	Висока: 180–360 повторень завдяки пневматичним приводам

	пацієнта.	та асистивним моторам.
Зворотний зв'язок (БЗЗ)	Суб'єктивний: вербальні вказівки терапевта та дзеркало.	Об'єктивний: **Візуальний та звуковий БЗЗ** у реальному часі через ігрові інтерфейси.
Механізм активації мозку	Механічне повторення рухів за інструкцією.	**Дзеркальне тренування (Mirror Therapy)** у Syrebo та нейрофізіологічна фасилітація.
Точність оцінки	Гоніометрія (похибка 5-10°) та мануальне м'язове тестування.	**Цифрова діагностика:** фіксація активної сили в Ньютонах (N) та обсягу рухів у градусах.
Контроль спастичності	Мануальне розтягнення (ризик спровокувати захисний рефлекс).	**Програмний контроль:** функція «Захист від спазмів» у MOTOmed з автоматичною реверсією.
Мотиваційний компонент	Монотонне виконання вправ, що часто знижує комплаєнс.	**Гейміфікація:** інтерактивні сценарії («збирання предметів», «польоти»), що підвищують залученість.
Принцип підтримки	Постійна фізична допомога фізичного терапевта (суб'єктивна).	Технологія **«Assist-as-needed»**: робот допомагає лише тоді, коли власного зусилля пацієнта недостатньо.

Дані, наведені в таблиці 3, наочно демонструють, що головна практична цінність розробленої нами програми полягає у послідовному поєднанні механотерапії великих суглобів із точним пневматичним

пропрацюванням дрібної моторики кисті. Одночасне залучення комплексів MOTOmed та Syrebo дало змогу вирішити два принципові клінічні завдання, а саме кардинально підвищити щільність моторних повторень протягом однієї сесії та організувати безперервний комп'ютерний контроль за якістю виконання рухів.

Завдяки цьому реабілітаційний процес перестав бути набором пасивних, механічних рухів і перетворився на усвідомлене нейром'язове перенавчання. Пацієнт щомиті бачив результати власних дій через канали біологічного зворотного зв'язку, що змушувало його мозок працювати активно. Саме така побудова занять запускає глибокі механізми нейропластичності й допомагає пацієнту набагато швидше відновити навички самообслуговування у повсякденному житті.

3.2. Аналіз динаміки показників моторного відновлення верхньої кінцівки

Аналіз результатів ефективності розробленої комплексної програми реабілітації проводився на основі порівняння даних первинного (до початку втручання) та кінцового (після закінчення 20-денного курсу) обстежень пацієнтів основної (ОГ) та контрольної (КГ) груп.

Динаміка показників моторної функції за шкалою Фугл-Мейєра (FMA-UE)

Оцінка рухового контролю, ізольованої вольової активності та ступеня вираженості патологічних синергій за шкалою Фугл-Мейєра виявила позитивні зміни в обох групах, проте темпи відновлення суттєво відрізнялися (таблиця 4, рис.6).

Таблиця 4

Порівняльна динаміка показників моторного відновлення верхньої кінцівки за шкалою Фугл-Мейєра (FMA-UE) у пацієнтів обстежених груп

Показник (шкала)	**Група**	**До реабілітації (M±m)**	**Після реабілітації (M±m)**	**Різниця (Δ)**	**Статистична значущість (p)**
FMA-UE (бали)	ОГ	28,4 ± 3,2	42,6 ± 2,8	+14,2	< 0,01
	КГ	27,9 ± 3,1	34,2 ± 2,5	+6,3	< 0,05

Примітка: ОГ – основна група; КГ – контрольна група; p – рівень статистичної вірогідності відмінностей всередині групи за критеріями Стьюдента та Вілкоксона.

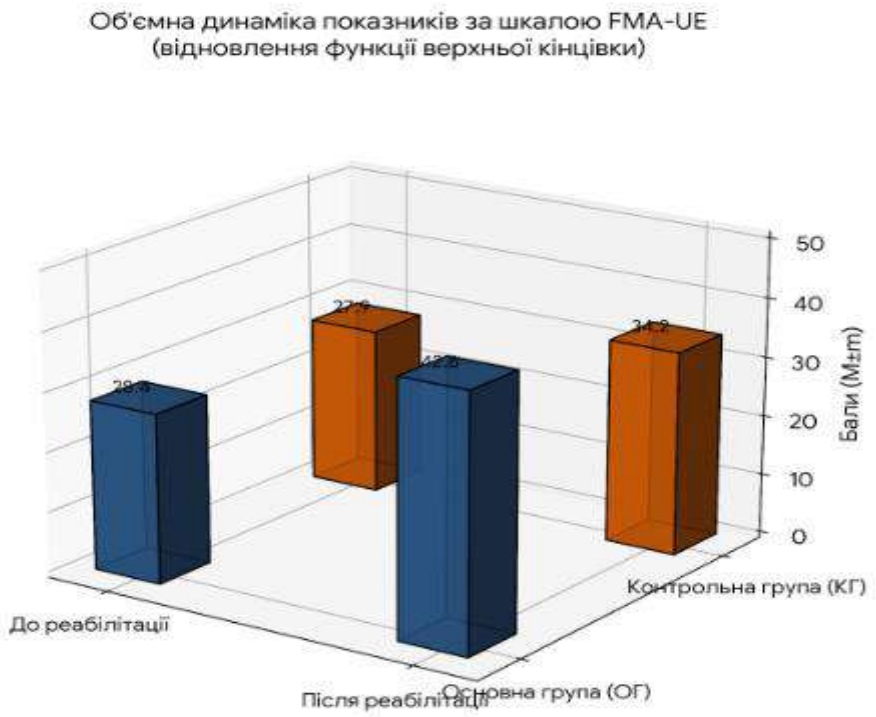

Рис.6. Динаміка показників моторного відновлення верхньої кінцівки за шкалою Фугл-Мейєра

В основній групі, де мануальні техніки поєднувалися з роботизованою терапією, середній показник моторної функції зріс на 14,2 бала – з 28,4 ±3,2 до 42,6 ± 2,8 бала ($p < 0,01$). Такий вагомий приріст свідчить про значне покращення селективності рухів та звільнення кінцівки від впливу грубих постінсультних синергій.

У контрольній групі також зафіксовано статистично значуще, але менш виражене покращення – з 27,9 ± 3,1 до 34,2 ± 2,5 бала ($p < 0,05$). Отриманий розрив між групами безпосередньо пов'язаний із високою щільністю та інтенсивністю рухових повторень, яку забезпечували комплекси MOTOmed та Syrebo. Це дозволило пацієнтам ОГ набагато швидше подолати стадію рефлекторних стереотипних рухів і перейти до свідомого контролю окремих суглобових сегментів руки.

Відновлення функціональних захватів та маніпулятивної здатності кисті (тест Френчай)

Аналіз динаміки показників за тестом руки Френчай (*Frenchay Arm Test, FAT*) підтвердив високу ефективність інтеграції роботизованої рукавички Syrebo для відновлення дрібної моторики (таблиця 5, рис.7).

Таблиця 5

Порівняльна динаміка показників моторного відновлення верхньої кінцівки за естом Френчай у пацієнтів обстежених груп

Показник (шкала)	Група	До реабілітації (M±m)	Після реабілітації (M±m)	Різниця (Δ)	Статистична значущість (p)
FAT (бали)	ОГ	2,0 ± 0,3	3,1 ± 0,2	+1,1	< 0,01
	КГ	1,9 ± 0,4	2,4 ± 0,3	+0,5	< 0,05

Примітка: ОГ – основна група; КГ – контрольна група; p – рівень статистичної вірогідності відмінностей всередині групи за критеріями Стьюдента та Вілкоксона.

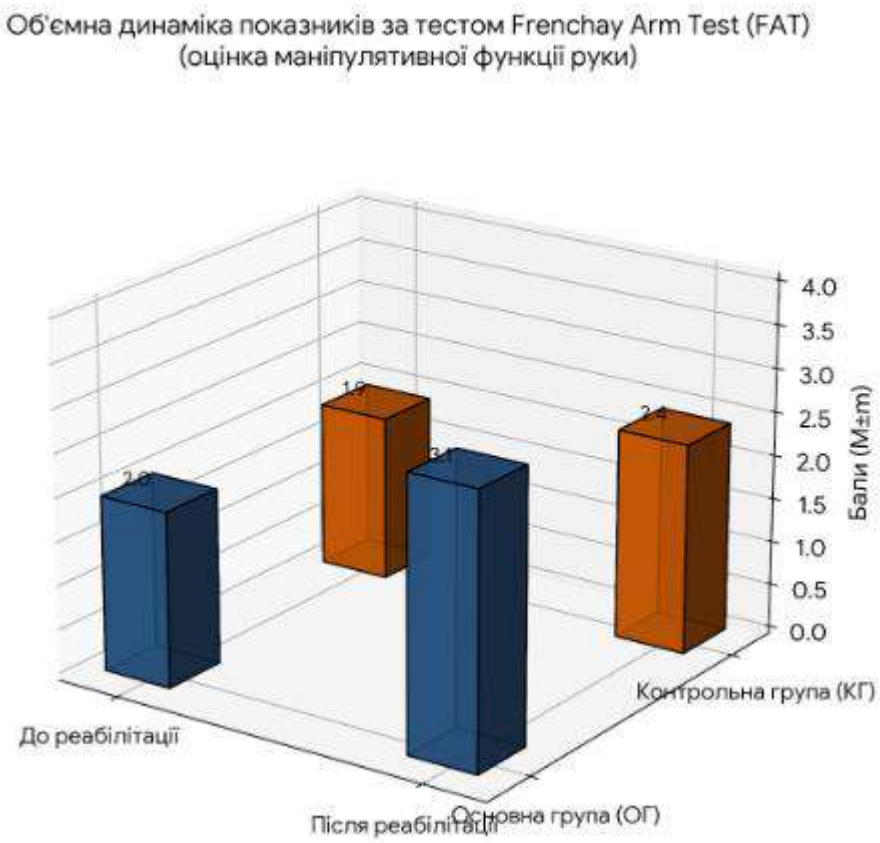

Рис.7. Динаміка показників моторного відновлення верхньої кінцівки за естом Френчай

Основна група (n=12) продемонструвала виражений і статистично вірогідний приріст показників – на 45% від вихідного рівня. Середній бал зріс із 2,0 ±0,3 бала під час первинного обстеження до 3,1 ±0,2 бала після завершення курсу реабілітації ($p < 0,01$).

Пацієнти ОГ почали значно впевненіше та координовано виконувати завдання на утримання великих циліндричних об'єктів (наприклад, фіксація лінійки чи піднесення склянки з водою).

Також покращилися складніші щипкові маніпуляції, такі як поворот ключа в замку чи зняття прищіпки. Це стало можливим завдяки регулярним заняттям в ігрових сценаріях системи Syrebo. Вони вимагали від пацієнта точного дозування зусилля пальців і концентрації уваги в режимі реального часу.

Контрольна група (n=12) показала значно менш виражений приріст функціональних можливостей руки – лише 18% від вихідного стану. Середній бал зріс з 1,9 ±0,4 бала до 2,4 ±0,3 бала ($p < 0,05$). Під час підсумкового тестування пацієнти КГ продовжували відчувати значні труднощі. Найбільше проблем виникало під час виконання завдань, що потребували ізольованого щипкового або ключового захвату дрібних предметів. Це зумовлено недостатньою силою, швидкістю та міжм'язовою координацією внутрішніх м’язів кисті. Такі структури вкрай складно диференційовано активувати за допомогою виключно традиційних вправ лікувальної гімнастики.

Динаміка м’язового тонусу за модифікованою шкалою Ешворта (MAS)

Аналіз результатів дослідження засвідчив позитивний вплив запропонованих реабілітаційних підходів на стан нервово-м'язової системи, при цьому комбіноване застосування мануальної фасилітації та роботизованих тренувань дозволило досягти більш вираженого й стабільного зниження постінсультної спастичності в основній групі порівняно з традиційною методикою (таблиця 6, рис.8).

Таблиця 6

Порівняльна динаміка показників м’язового тонусу за Модифікованою шкалою Ешворта (MAS) у пацієнтів обстежених груп

Показник (шкала)	Група	До реабілітації (M±m)	Після реабілітації (M±m)	Різниця (Δ)	Статистична значущість (p)
MAS (бали)	ОГ	2,8 ± 0,4	1,7 ± 0,3	-1,1	< 0,05
	КГ	2,9 ± 0,5	2,4 ± 0,4	-0,5	> 0,05

Примітка: ОГ – основна група; КГ – контрольна група; p – рівень статистичної вірогідності відмінностей всередині групи за критеріями Стьюдента та Вілкоксона.

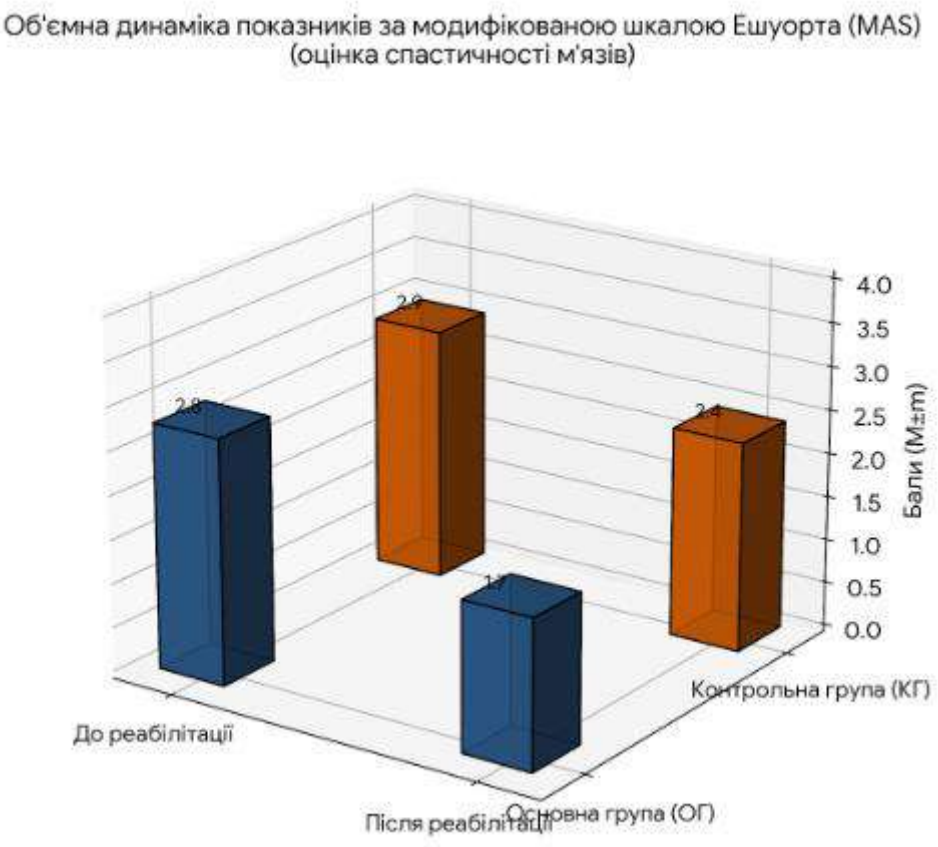

Рис.8. Динаміка показників м’язового тонусу за Модифікованою шкалою Ешворта (MAS)

За модифікованою шкалою Ешворта в основній групі спостерігалося стабільне та клінічно значуще зниження спастичності в середньому на 1,1 бала (з 2,8 ±0,4 до 1,7 ±0,3 бала, $p < 0,05$). Такий результат став прямим наслідком синергетичного ефекту: попередньої нейрофізіологічної підготовки за методикою PNF (мобілізація лопатки та розтягнення флексорів) та наступного тривалого циклічного розтягнення м'язів під час асистивних рухів у режимі *Servo Cycling* на тренажері MOTOmed.

У контрольній групі зниження тонусу було мінімальним та менш стабільним (з 2,9 ±0,5 до 2,4 ±0,4 бала). Більше того, у двох пацієнтів КГ після стандартного фізичного навантаження спостерігалося зворотне підвищення спастичності до вихідних преморбідних значень. Це підкреслює критичну важливість точного апаратного дозування опору та допомоги, реалізованого в нашій програмі.

Об’єктивні апаратні дані системи Syrebo

Унікальною перевагою аналізу результатів пацієнтів ОГ стала можливість використання об'єктивних цифрових звітів роботизованої рукавички Syrebo, які фіксували зміни, невідчутні для стандартних клінічних шкал:

1. Зростання активної сили стискання: в середньому на 12–15 Нютонів (N). Комп'ютерний моніторинг зафіксував якісну зміну структури руху: пацієнти навчилися не лише генерувати сильніший імпульс для захвату сенсора, а й плавно, контрольовано відпускати його без виникнення патологічного спастичного заклинювання.
2. Збільшення амплітуди ізольованого розгинання: дані датчиків Syrebo підтвердили приріст активної амплітуди розгинання в п'ястково-фалангових та міжфалангових суглобах в середньому на 18–22°. Це безпосередньо вказує на активацію додаткової моторної коры за рахунок тривалого використання режиму «дзеркального тренування» (таблиця 7, рис.9, рис.10).

Таблиця 7

Порівняльна динаміка об’єктивних біомеханічних показників верхньої кінцівки за даними сенсорної системи Syrebo в пацієнтів ОГ та КГ

Показник (шкала)	Група	До реабілітації (M±m)	Після реабілітації (M±m)	Різниця (Δ)	Статистична значущість (p)
Активна сила стискання кисті (Ньютони, N)	ОГ	8,4±1,1	21,9±1,4	+13,5	<0,01
	КГ	8,1±1,2	11,4±1,0	+3,3	<0,05
Активна амплітуда розгинання пальців (градуси, °)	ОГ	12,6±1,8	33,2±2,1	+20,6	<0,01
	КГ	12,9±1,7	17,4±1,5	+4,5	<0,05

Примітка: ОГ – основна група; КГ – контрольна група; p – рівень статистичної вірогідності відмінностей всередині групи за критеріями Стьюдента та Вілкоксона, для пацієнтів КГ сенсорна система Syrebo використовувалася виключно як діагностичний інструмент під час первинного та підсумкового обстежень.

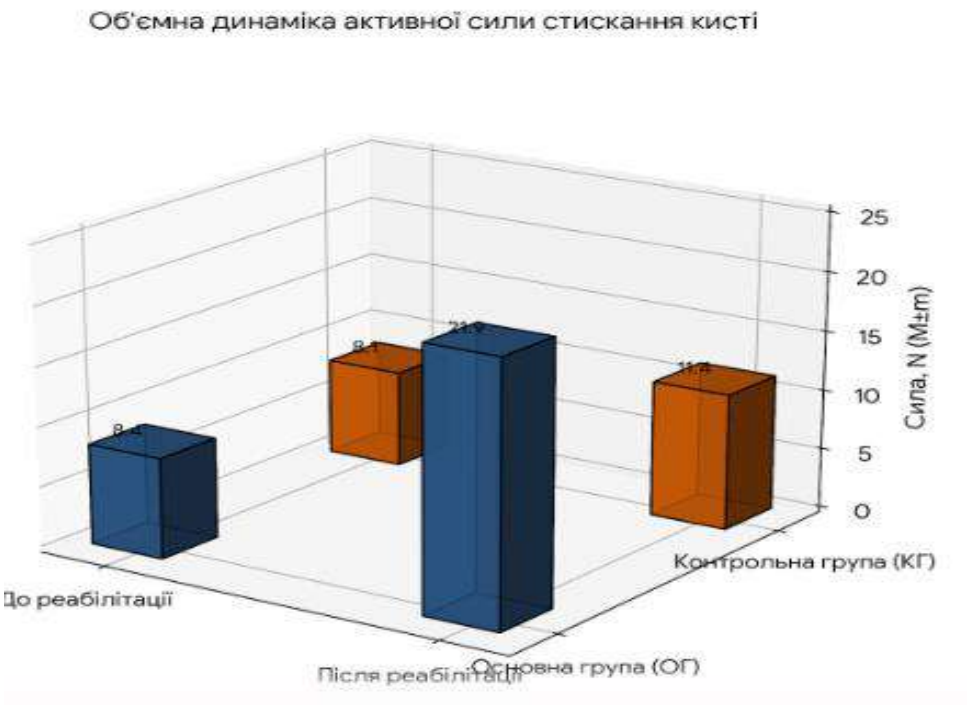

Рис.9. Динаміка сили стискання кисті

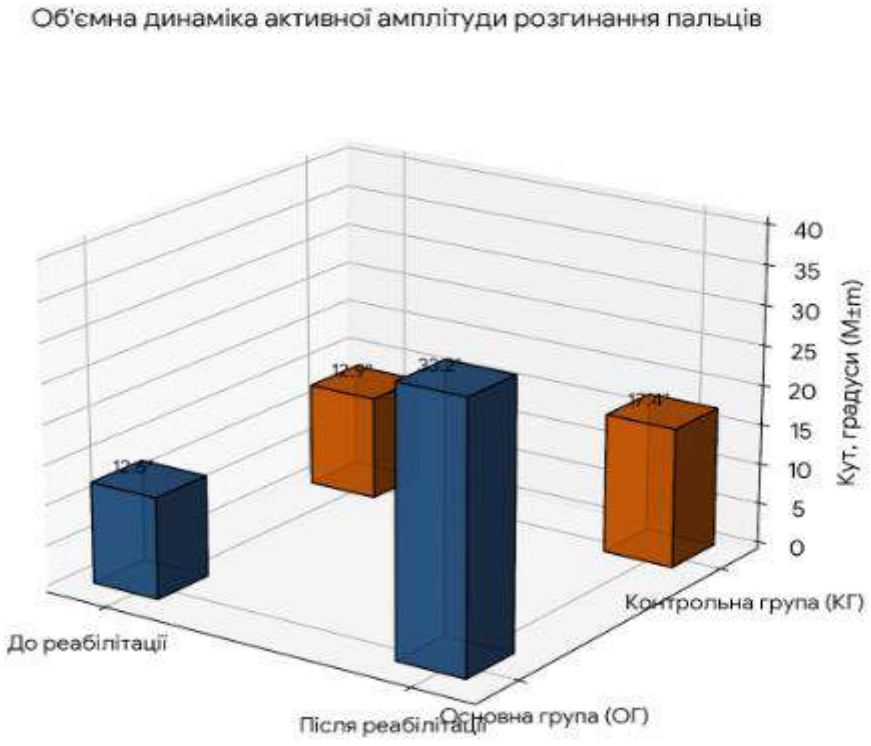

Рис.10. Динаміка амплітуди розгинання пальців

Отримані дані підтверджують гіпотезу дослідження: інтеграція роботизованих систем у програму фізичної терапії забезпечує статистично значущу перевагу у відновленні моторного контролю та функціональної активності руки. Це зумовлено можливістю багаторазового повторення рухів, наявністю біологічного зворотного зв’язку та високою об'єктивністю контролю навантаження, що є недоступним у межах традиційної терапії.

ВИСНОВКИ

1. Теоретичний аналіз науково-доказової бази підтвердив, що відновлення функцій верхньої кінцівки у постінсультних пацієнтів залишається одним із найскладніших завдань реабілітації через високу частоту формування стійких рухових дефіцитів (до 40% випадків у хронічній стадії). Встановлено, що класичні мануальні методики (Бобат-терапія, PNF), попри їхню фундаментальність, мають суттєві обмеження щодо можливості забезпечення високої щільності рухових повторень та об'єктивного контролю динаміки. Це обґрунтовує необхідність інтеграції роботизованих комплексів із біологічним зворотним зв'язком (БЗЗ) для ефективної активації процесів нейропластичності головного мозку.
2. Розроблена та впроваджена нами авторська програма базується на клінічній синергії мануальних нейрофізіологічних технік та високотехнологічних занять. Протокол передбачає послідовне залучення механотерапевтичного тренажера MOTOmed (для проксимальної стабілізації та розробки великих суглобів) та пневматичної роботизованої рукавички Syrebo (для відновлення дрібної моторики кисті). Такий підхід дозволив забезпечити оптимальну терапевтичну дозу втручань (від 400 до 800 рухових повторень за одну сесію) та здійснити комплексний вплив на весь кінематичний ланцюг ураженої кінцівки.
3. Оцінка динаміки моторного відновлення за міжнародною шкалою Фугл-Мейєра (FMA-UE) виявила статистично значущу перевагу пацієнтів основної групи, де середній бал зріс на 14,2 бала (з 28,4 ± 3,2 до 42,6 ± 2,8 бала, $p < 0,01$). У контрольній групі приріст склав лише 6,3 бала. Отримані результати підтверджують, що використання роботизованої асистенції за концепцією «Assistance-as-Needed» (допомога лише за потреби) сприяє швидшому руйнуванню

патологічних постінсультних синергій та поверненню свідомого контролю за ізольованими рухами кінцівки.

4. За результатами тестування маніпулятивної здатності кисті (тест Френчай) та аналізу цифрових звітів системи Syrebo, в основній групі зафіксовано покращення функції на 45%, тоді як у контрольній – лише на 18%. Об’єктивна апаратна діагностика підтвердила збільшення активної сили стискання кисті в середньому на 12–15 Ньютонів (N) та збільшення амплітуди ізольованого розгинання пальців на 18–22°. Це безпосередньо покращило здатність пацієнтів до точного маніпулювання предметами побуту завдяки постійному тренуванню в режимі візуального біологічного зворотного зв'язку.
5. Доведено, що інтеграція роботизованих систем суттєво підвищує внутрішню мотивацію пацієнтів та їхній комплаєнс завдяки гейміфікації реабілітаційного процесу. Постійна візуалізація успішності рухових спроб на екрані монітора дозволяє подолати психологічний феномен «навченого невикористання» ураженої руки. Отримані дані свідчать про високу медико-соціальну ефективність запропонованого підходу, що дозволяє рекомендувати програму для широкого впровадження у практичну діяльність реабілітаційних відділень.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ФІЗИЧНИХ ТЕРАПЕВТІВ

1. **Етапність та диференційований підбір пристроїв.** При побудові реабілітаційного процесу фізичному терапевту слід чітко розділяти рухові рівні верхньої кінцівки. Для пацієнтів із вираженим проксимальним дефіцитом (слабкість плечового та ліктьового суглобів) пріоритетом є використання механотерапевтичних комплексів **MOTOmed viva2** у режимі *Servo Cycling*. Це дозволяє знизити спастичність та підготувати великі суглоби. Відновлення тонкої маніпулятивної здатності кисті та пальців рекомендується проводити за допомогою роботизованої рукавички **Syrebo**, фокусуючись на ігрових сценаріях «захоплення–утримання–відпускання» з використанням біологічного зворотного зв'язку.
2. **Дотримання нейрофізіологічного таймінгу сесії.** Апаратне тренування (тривалістю 30–40 хвилин) необхідно проводити суворо після 20-хвилинного попереднього блоку мануальної підготовки (техніки PNF, м'яка мобілізація лопатки або міофасціальний реліз). Такий часовий розподіл дозволяє попередньо «розігріти» м'язи-антагоністи, зменшити спастичний опір тканин та забезпечити максимально можливу амплітуду активного руху під час наступного роботизованого тренування.
3. **Мануальний контроль та пригнічення патологічних компенсацій.** Під час занять на роботизованих системах фізичний терапевт повинен безперервно моніторити положення тулуба пацієнта. Незважаючи на інтелектуальні алгоритми підтримки пристроїв, пацієнти часто намагаються підмінити рух руки нахилом корпусу вперед або вбік. Для підвищення ізольованої активності ураженої кінцівки рекомендується забезпечувати стабільну опору для здорової руки, фіксувати плечовий пояс та використовувати ергономічне крісло з чітким позиціонуванням тазу.

4. **Впровадження режиму «дзеркального тренування» на ранніх етапах.** Для пацієнтів із мінімальним або відсутнім руховим відгуком (при глибоких постінсультних плегіях) фізичному терапевту слід активно залучати функцію *Mirror Therapy* у системі Syrebo. Синхронна візуалізація рухів здорової та ураженої рук запускає роботу дзеркальних нейронів і створює потужний зворотний аферентний потік до моторної кори головного мозку, що є критично важливим для ініціації перших свідомих рухів.
5. **Гейміфікація та мотиваційний моніторинг результатів.** Для запобігання виникненню «монотонної втоми» та для підтримки високого рівня нейропластичності рекомендується змінювати віртуальні ігрові сценарії кожні 5–7 хвилин заняття. Спеціаліст має обов'язково демонструвати пацієнту поточні цифрові звіти прогресу на екрані (силу стискання в Ньютонах та амплітуду руху пальців у градусах). Наочна візуалізація успіху («До» та «Після» сесії) є найсильнішим психологічним інструментом для подолання феномену «навченого невикористання» руки.
6. **Функціональна інтеграція та ADL-перехід.** Останні 10 хвилин кожного реабілітаційного заняття мають бути присвячені обов'язковому перенесенню відпрацьованого роботизованого руху в реальну побутову діяльність (*Activities of Daily Living*). Наприклад, одразу після відпрацювання циліндричного чи щипкового захвату в рукавичці Syrebo пацієнту пропонується виконати маніпуляції з реальними предметами (утримання склянки з водою, зубної щітки, ручки дверей або столових приборів). Це забезпечує стійкість реабілітаційного ефекту та прискорює повернення пацієнта до побутової незалежності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bernhardt J. Moving rehabilitation research forward: Developing consensus statements for rehabilitation and recovery / J. Bernhardt [et al.] // International Journal of Stroke. – 2017. – Vol. 12, № 4. – P. 445–458.
2. Boardsworth K. Upper limb robotic rehabilitation following stroke: a systematic review and meta-analysis investigating efficacy and the influence of device features and program parameters / K. Boardsworth, U. Rashid, S. Olsen [et al.] // J Neuroeng Rehabil. – 2025. – Vol. 22, № 1. – P. 164.
3. Brunner I. Virtual Reality Training for Upper Extremity Rehabilitation Post Stroke / I. Brunner [et al.] // Cochrane Database of Systematic Reviews. – 2017. – № 7. – CD010860.
4. Budhota A. Robotic Assisted Upper Limb Training Post Stroke: A Randomized Control Trial Using Combinatory Approach Toward Reducing Workforce Demands / A. Budhota, K. S. G. Chua [et al.] // Front Neurol. – 2021. – Vol. 12. – 622014.
5. Calabrò R. S. Does hand robotic rehabilitation improve motor function by rebalancing interhemispheric connectivity after chronic stroke? Encouraging data from a randomised-clinical-trial / R. S. Calabrò [et al.] // Clin Neurophysiol. – 2019. – Vol. 130. – P. 767–780.
6. Castelli L. The impact of robotic hand rehabilitation on hand function and fatigue in patients with stroke (RoHa-S) / L. Castelli, D. Giannuzzi, C. Loreti [et al.] // J Clin Neurosci. – 2025. – Vol. 139. – 111445.
7. Cheng C. Effects of robot-assisted hand function therapy on brain functional mechanisms: a synchronized study using fNIRS and sEMG / C. Cheng [et al.] // Front Med. – 2024. – Vol. 11. – 1411616.

8. Chien W. Robot-assisted therapy for upper-limb rehabilitation in subacute stroke patients: a systematic review and meta-analysis / W. Chien [et al.] // Brain Behav. – 2020. – Vol. 10. – e01742.
9. Chu C. Y. Soft robotic devices for hand rehabilitation and assistance: a narrative review / C. Y. Chu, R. M. Patterson // Journal of neuroengineering and rehabilitation. – 2018. – Vol. 15, № 1. – P. 9.
10. Coskunsu D. Effects of robotic rehabilitation on recovery of hand functions in acute stroke: a preliminary randomized controlled study / D. Coskunsu [et al.] // Acta Neurol Scand. – 2022. – Vol. 146. – P. 499–511.
11. Cunningham D. A. The role of the upper limb in post-stroke gait: A systematic review / D. A. Cunningham [et al.] // Clinical Biomechanics. – 2020. – Vol. 71. – P. 1–8.
12. De Iaco L. Upper limb robots for recovery of motor arm function in patients with stroke: a systematic review and meta-analysis / L. De Iaco, J. M. Veerbeek, J. C. F. Ket, G. Kwakkel // Neurology. – 2024. – Vol. 103. – e209495.
13. Feigin V. L. World stroke organization (WSO): global stroke fact sheet 2022 / V. L. Feigin [et al.] // Int J Stroke. – 2022. – Vol. 17. – P. 18–29.
14. Feingold-Polak R. Socially assistive robot for stroke rehabilitation: a long-term in-the-wild pilot randomized controlled trial / R. Feingold-Polak, O. Barzel, S. Levy-Tzedek // IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng. – 2024. – Vol. 32. – P. 1616–1626.
15. Forrester L. W. Clinical application of a modular ankle robot for stroke rehabilitation / L. W. Forrester, A. Roy, R. N. Goodman [et al.] // NeuroRehabilitation. – 2013. – Vol. 33, № 1. – P. 85–97.
16. Gandolla M. Automatic Setting Procedure for Exoskeleton-Assisted Overground Gait: Proof of Concept on Stroke Population / M.

Gandolla, E. Guanziroli, A. D'Angelo [et al.] // Front Neurorobot. – 2018. – Vol. 12. – P. 10.

17. Geroin C. Robot-assisted arm training in stroke patients with severe upper limb impairment: A randomized controlled trial / C. Geroin [et al.] // European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine. – 2020. – Vol. 56, № 2. – P. 142–151.
18. Gull M. A. Upper Limb Exoskeleton Devices for Stroke Rehabilitation: A Survey / M. A. Gull [et al.] // Sensors. – 2020. – Vol. 20, № 7. – P. 2058.
19. Keeling A. B. Robot enhanced stroke therapy optimizes rehabilitation (RESTORE): a pilot study / A. B. Keeling, M. Piitz, J. A. Semrau [et al.] // J Neuroeng Rehabil. – 2021. – Vol. 18, № 1. – P. 10.
20. Kleim J. A. Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage / J. A. Kleim, T. A. Jones // Journal of Speech, Language, and Hearing Research. – 2008. – Vol. 51, № 1. – P. 225–239.
21. Kwakkel G. Mechanisms of Upper Limb Recovery After Stroke / G. Kwakkel [et al.] // Progress in Brain Research. – 2022. – Vol. 271. – P. 1–25.
22. Lang C. E. Dose and timing in neurorehabilitation: prescribing sessions, routines, and programs / C. E. Lang [et al.] // Journal of Neurologic Physical Therapy. – 2023. – Vol. 47, № 1. – P. 5–15.
23. Li Y. Effect of task-oriented training assisted by force feedback hand rehabilitation robot on finger grasping function in stroke patients with hemiplegia: a randomised controlled trial / Y. Li [et al.] // J Neuroeng Rehabil. – 2024. – Vol. 21. – P. 77.
24. Lohse K. R. Is more better? Using metadata to explore dose-response relationships in stroke rehabilitation / K. R. Lohse [et al.] // Stroke. – 2014. – Vol. 45, № 7. – P. 2053–2058.

25. Mazzoleni S. Upper limb robot-assisted therapy in chronic and subacute stroke patients: a kinematic analysis / S. Mazzoleni [et al.] // Am J Phys Med Rehabil. – 2013. – Vol. 92 (10 Suppl 2). – P. e26–37.
26. Mehrholz J. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke / J. Mehrholz, M. Pohl, T. Platz [et al.] // Cochrane Database of Systematic Reviews. – 2018. – Issue 9. – Art. No.: CD006876.–Access mode: https://doi.org/10.1002/14651858.CD006876.pub5.
27. Mehrholz J. Systematic review with network meta-analysis of randomized controlled trials of robotic-assisted arm training for improving activities of daily living and upper limb function after stroke / J. Mehrholz [et al.] // J Neuroeng Rehabil. – 2020. – Vol. 17. – P. 83.
28. Mehrholz J. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke / J. Mehrholz, M. Pohl, T. Platz [et al.] // Cochrane Database Syst Rev. – 2018. – № 9. – CD006876.
29. Pollock A. Interventions for improving upper limb function after stroke / A. Pollock, S. E. Farmer, M. C. Brady [et al.] // Cochrane Database Syst Rev. – 2014. – № 11. – CD010820.
30. Robotic treatment of the upper limb in chronic stroke and cerebral neuroplasticity: a systematic review [Electronic resource] / Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. – 2021. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/348804271.
31. Rodgers H. Robot-assisted training compared with an enhanced upper limb therapy programme and with usual care for upper limb functional limitation after stroke: the RATULS three-group RCT / H. Rodgers [et al.] // Health Technol Assess. – 2020. – Vol. 24. – P. 1–232.

32. Rodgers H. Robot-assisted training for the upper limb after stroke (RATULS): a multicentre randomised controlled trial / H. Rodgers [et al.] // The Lancet. – 2019. – Vol. 394, № 10192. – P. 51–62.
33. Rojek A. Effects of Exoskeleton Gait Training on Balance, Load Distribution, and Functional Status in Stroke: A Randomized Controlled Trial / A. Rojek, A. Mika, Ł. Oleksy [et al.] // Front Neurol. – 2020. – Vol. 10. – P. 1344.
34. Santisteban L. Upper Limb Outcome Measures Used in Stroke Rehabilitation Studies: A Systematic Review / L. Santisteban [et al.] // Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. – 2016. – Vol. 97, № 9. – P. 1551–1560.
35. Sharma V. S. Effectiveness of Syrebo's Glove Rehabilitation Program in a Patient With Middle Cerebral Artery Infarct: A Case Report / V. S. Sharma, H. V. Sharath, A. R. Sasun // Cureus. – 2024. – Vol. 16, № 4. – e59314.
36. Stucki G. How to use the international classification of functioning, disability and health as a reference system for comparative evaluation and standardized reporting of rehabilitation interventions / G. Stucki [et al.] // Eur J Phys Rehabil Med. – 2019. – Vol. 55. – P. 384–394.
37. Su T. Effect of Upper Robot-Assisted Training on Upper Limb Motor, Daily Life Activities, and Muscular Tone in Patients With Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis / T. Su, M. Wang, Z. Chen, L. Feng // Brain Behav. – 2024. – Vol. 14, № 11. – e70117.
38. Thimabut W. Effectiveness of a Soft Robotic Glove to Assist Hand Function in Stroke Patients: A Cross-Sectional Pilot Study / W. Thimabut, P. Terachinda, W. Kitisomprayoonkul // Rehabil Res Pract. – 2022. – Vol. 2022. – 3738219.
39. Tomić T. ArmAssist robotic system versus matched conventional therapy for poststroke upper limb rehabilitation: a randomized clinical

trial / T. Tomić [et al.] // Biomed Res Int. – 2017. – Vol. 2017. – 7659893.

40. Villafañe J. H. Efficacy of short-term robot-assisted rehabilitation in patients with hand paralysis after stroke: a randomized clinical trial / J. H. Villafañe [et al.] // Hand. – 2018. – Vol. 13. – P. 95–102.
41. Wallard L. Effects of robotic gait rehabilitation on biomechanical parameters in the chronic hemiplegic patients / L. Wallard, G. Dietrich, Y. Kerlirzin, J. Bredin // Neurophysiologie Clinique. – 2015. – P. 215–219.
42. Wang T. Effectiveness of soft robotic glove versus repetitive transcranial magnetic stimulation in post-stroke patients with severe upper limb dysfunction: A randomised controlled trial / T. Wang, Z. Liu, J. Gu [et al.] // Front. Neurol. – 2023. – Vol. 13. – 887205.
43. Winstein C. J. Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association / C. J. Winstein [et al.] // Stroke. – 2016. – Vol. 47, № 6. – P. e98–e169.

Додаток А

ШКАЛА ФУГЛЬ-МЕЙЄР
ВЕРХНЯ КІНЦІВКА (ШФМ-ВК)
Оцінка сенсомоторної функції

ПІБ:
Дата:
Оцінювач:

A. P. Fugl-Meyer, J. Jaasko, I. Leyman, S. Olsson, S. Steglind: Post-stroke hemiplegic patient. Methodological physical properties /Jpn Scand Rehab Medicine 1975, 7:13-31

A. ВЕРХНЯ КІНЦІВКА, положення сидячи					
I. Рефлекторна активність			**немає**	**можна викликати**	
Згиначі: двоголовий м'яз і зовнішній, пальців (принаймні один) **Розгиначі**: триголовий м'яз			0 0	2 2	
Проміжне значення I (макс. 4)					
II. Довільний рух у межах синергії без допомоги сили тяжіння			**немає**	**частково**	**повністю**
Згинальна синергія: кисть руки від коліна із протилежного боку до вуха з того самого боку. Від розгинальної синергії (приведення плеча/ внутрішня ротація, розгинання ліктя, пронація передпліччя) до згинальної синергії (відведення плеча/ зовнішня ротація, згинання ліктя, супінація передпліччя). **Розгинальна синергія:** Кисть руки від вуха з того самого боку до коліна із протилежного боку.	Плече Лікоть Передпліччя	ретракція підіймання відведення (90°) зовнішня ротація згинання супінація	0 0 0 0 0 0	1 1 1 1 1 1	2 2 2 2 2 2
	Плече Лікоть Передпліччя	приведення/ внутрішня ротація розгинання, пронація	0 0 0	1 1 1	2 2 2
Проміжне значення II (макс. 18)					
III. Довільний рух зі змішаною синергією, без компенсації			**немає**	**частково**	**повністю**
Кисть до поперекового відділу хребта кисть на коліні	немає дуги, виконати або кисть перед передньою верхньою клубовою остю кисть за передньою верхньою клубовою остю (без компенсацій) кисть до поперекового відділу хребта (без компенсацій)		0	1	2
Згинання плеча 0° - 90° лікоть на 0° пронація - супінація 0°	моментальне відведення або зовнішня ротація відведення або зовнішня ротація під час руху згинання на 90°, відсутність відведення плеча або зовнішня ротація		0	1	2
Пронація – супінація лікоть на 90° плече на 0°	відсутність пронації/ супінації, вихідне положення неможливе обмежена пронація/ супінація, пацієнт підтримує вихідне положення повна пронація/ супінація, пацієнт підтримує вихідне положення		0	1	2
Проміжне значення III (макс. 6)					
IV. Довільний рух із частковою або відсутньою синергією			**немає**	**частково**	**повністю**
Відведення плеча 0° - 90° лікоть на 0° передпліччя проноване	моментальна супінація або зовнішня ротація супінація або зовнішня ротація під час руху відведення на 90°, підтримання розгинання і пронації		0	1	2
Згинання плеча 90° - 180° лікоть на 0° пронація - супінація 0°	моментальне відведення або зовнішня ротація відведення або зовнішня ротація під час руху згинання на 180°, відсутність відведення плеча або зовнішня ротація		0	1	2

Пронація/ супінація лікоть на 0° плече зігнуте на 30° - 90°	відсутність пронації/ супінації, вихідне положення неможливе обмежена пронація/ супінація, утримання вихідного положення повна пронація/ супінація, утримання вихідного положення	0	1	2
Проміжне значення IV (макс. 6)				
V. Нормальна рефлекторна активність оцінюється лише за умови отримання максимальної оцінки (6 балів) у частині IV, порівняйте з протилежною, неушкодженою стороною		**0 (IV), гіпер**	**пожвавлена**	**нормальна**
двоголовий м'яз, триголовий м'яз згиначі пальців	2 (два) з 3 (трьох) рефлексів помітно гіперактивні або 0 балів у частині IV 1 (один) рефлекс помітно гіперактивний або як мінімум 2 (два) рефлекси пожвавлені максимум 1 (один) рефлекс пожвавлений, жоден не гіперактивний	0	1	2
Проміжне значення V (макс. 2)				
Загальне значення для A (макс. 36)				
B. ЗАП'ЯСТЯ можна підтримувати за лікоть, щоб прийняти або утримувати вихідне положення, не підтримувати за зап'ястя, перед тестуванням перевірити пасивну амплітуду руху		**немає**	**частково**	**повністю**
Стабільність при дорсальному згинанні на 15° лікоть зігнутий на 90°, передпліччя проноване плече на 0°	активне дорсальне згинання менш ніж на 15° дорсальне згинання на 15°, пацієнт опір не утримує утримує дорсальне згинання з опором	0	1	2
Повторне дорсальне згинання/ волярне згинання лікоть зігнутий на 90°, передпліччя проноване плече на 0°, легке згинання пальців	довільний рух не виконується обмежена активна амплітуда руху плавне виконання повної активної амплітуди руху	0	1	2
Стабільність при дорсальному згинанні на 15° лікоть на 0°, передпліччя проноване незначне згинання плеча/ відведення	активне дорсальне згинання менш ніж на 15° дорсальне згинання на 15°, пацієнт опір не утримує утримує дорсальне згинання з опором	0	1	2
Повторне дорсальне згинання/ волярне згинання лікоть на 0°, передпліччя проноване незначне згинання плеча/ відведення	довільний рух не виконується обмежена активна амплітуда руху плавне виконання повної активної амплітуди руху	0	1	2
Обертання по колу (циркумдукція) лікоть зігнутий на 90°, передпліччя проноване, плече на 0°	довільний рух не виконується рух переривчастий або неповний повна і плавна циркумдукція	0	1	2
Загальне значення для B (макс. 10)				

C. КИСТЬ можна підтримувати за лікоть, щоб досягти згинання на 90°, не підтримувати зап'ястя, порівнювати з протилежною, неушкодженою кистю, в оцінці використовуються предмети, активні захвати		**немає**	**частково**	**повністю**
Повне згинання від повного активного або пасивного розгинання		0	1	2
Повне розгинання від повного активного або пасивного згинання		0	1	2

Захват				
a. Гачкоподібний захват згинання у проксимальних міжфалангових і дистальних міжфалангових суглобах (II-V), розгинання у п'ясно-фалангових суглобах II-V	неможливо виконати можливо утримати положення, але слабко утримання положення з опором	0	1	2
b. Приведення великого пальця 1-й п'ясно-зап'ястний, п'ясно-фаланговий, міжфаланговий суглоб розігнутий до 0°, аркуш паперу між великим пальцем і II-м п'ясно-фаланговим суглобом (II пальця)	неможливо виконати можливо взяти папір, але не вдається його утримати, при спробі витягнути з руки можливо утримати папір, при спробі витягнути з руки	0	1	2
c. Пінцетний захват, протиставлення подушечка великого пальця і подушечка вказівного пальця, олівець, спроба витягнути/вихопити (догори)	неможливо виконати можливо взяти олівець, але не вдається його утримати, при спробі вихопити з руки можливо утримати олівець, при спробі вихопити з руки	0	1	2
d. Циліндричний захват предмет циліндричної форми (маленька пляшка) спроба витягнути (догори), великий палець навпроти інших пальців	неможливо виконати можливо взяти циліндр, але не вдається його утримати, при спробі витягнути (догори) можливо утримати циліндр, при спробі витягнути (догори)	0	1	2
e. Сферичний захват пальці відведені / зігнуті, великий палець навпроти інших, тенісний м'яч, спроба вихопити	неможливо виконати можливо взяти м'яч, але не вдається його утримати, при спробі витягнути/ вихопити з руки можливо утримати м'яч, при спробі вихопити з руки	0	1	2
Загальне значення для C (макс. 14)				

D. КООРДИНАЦІЯ/ ШВИДКІСТЬ, положення сидячи, після однієї тренувальної спроби очі закрити і як найшвидше 5 разів, торкнутись кінчиком вказівного пальця від коліна до носа		виражена	слабка	немає
Тремор	як мінімум 1 повний рух	0	1	2
Дисметрія як мінімум 1 повний рух	різко виражена або несистематична незначна та систематична відсутність дисметрії	0	1	2
		≥ 6 с	2 – 5 с	< 2 с
Час початок і закінчення з рукою на коліні	як мінімум, на 6 секунд повільніше, ніж неушкоджена сторона як мінімум, на 2-5 секунд повільніше, ніж неушкоджена сторона з різницею менш ніж 2 секунди	0	1	2
Загальне значення для D (макс. 6)				

H. ЧУТЛИВІСТЬ, верхня кінцівка очі закриті, порівняйте з протилежною, неушкодженою стороною		втрата чутливості	гіпестезія або дизестезія	норма
Легкий дотик	плече, передпліччя долонна поверхня кисті	0 0	1 1	2 2
		менш ніж 3/4 правильних відповідей або відсутня чутливість	3/4 правильних відповідей або значна відмінність	правильність на 100%, незначна відмінність або відсутність відмінностей
Положення розпізнавання незначної зміни положення	плече лікоть зап'ястя великий палець руки (міжфаланговий суглоб)	0 0 0 0	1 1 1 1	2 2 2 2
Загальне значення для H (макс. 12)				

I. ПАСИВНА АМПЛІТУДА РУХУ СУГЛОБУ, верхня кінцівка, положення сидячи, порівняйте з протилежною, неушкодженою стороною				J. БІЛЬ У СУГЛОБІ під час пасивного руху, верхня кінцівка		
	лише на кілька градусів (менше ніж на 10° у плечі)	зменшена	нормаль на	виражений біль під час руху або дуже інтенсивний біль наприкінці руху	незначний біль	немає больових відчуттів
Плече						
Згинання (0° - 180°)	0	1	2	0	1	2
Відведення (0°-90°)	0	1	2	0	1	2
Зовнішня ротація	0	1	2	0	1	2
Внутрішня ротація	0	1	2	0	1	2
Лікоть						
Згинання	0	1	2	0	1	2
Розгинання	0	1	2	0	1	2
Передпліччя						
Пронація	0	1	2	0	1	2
Супінація	0	1	2	0	1	2
Зап'ястя						
Згинання	0	1	2	0	1	2
Розгинання	0	1	2	0	1	2
Пальці руки						
Згинання	0	1	2	0	1	2
Розгинання	0	1	2	0	1	2
Загальне значення (макс. 24)				Загальне значення (макс. 24)		

A. ВЕРХНЯ КІНЦІВКА	/36
B. ЗАП'ЯСТЯ	/10
C. КИСТЬ	/14
D. КООРДИНАЦІЯ/ ШВИДКІСТЬ	/ 6
Загальне значення для A-D (рухова функція)	/66

H. ЧУТЛИВІСТЬ	/12
I. ПАСИВНА АМПЛІТУДА РУХУ СУГЛОБУ	/24
J. БІЛЬ У СУГЛОБІ	/24