

Чорноморський національний університет імені Петра Могили
навчально-науковий медичний інститут
кафедра терапевтичних дисциплін

«Допущено до захисту»
завідувач кафедри терапевтичних дисциплін
_____ Максим ЗАК

(підпис)

“ _____ ” _____ 2024 року

615.82:616.89

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти магістр

за освітньо-професійною програмою «Фізична терапія»
зі спеціальності 227 Фізична терапія, ерготерапія
за спеціалізацією 227.01 Фізична терапія

**на тему: «Застосування роботизованої механотерапії у комплексній
реабілітації хворих з неврологічною патологією»**

Виконав:

Здобувач VI курсу, групи 681

Нікітін Євгеній Андрійович

(підпис)

Науковий керівник:

кандидат медичних наук,

доцент кафедри терапевтичних дисциплін

Храмцов Денис Миколайович

(підпис)

Рецензент:

кандидат медичних наук,

доцент кафедри терапевтичних дисциплін

Ворохта Юрій Миколайович

(підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень із праць
інших авторів без відповідних посилань

Здобувач _____

(підпис)

Миколаїв – 2024 р.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ПРИНЦИПИ РЕАБІЛІТАЦІЇ ПАЦІЄНТІВ ІЗ НЕВРОЛОГІЧНОЮ ПАТОЛОГІЄЮ (АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД).....	9
1.1. Робототехніка та мехатроніка в медицині	9
1.2. Класифікація медичних роботів	12
1.3. Медичні наслідки хребетно-спинномозкової травми.....	14
1.4. Сучасні принципи реабілітації пацієнтів із травмою спинного мозку.....	17
1.5. Механотерапія рухового дефіциту при травмі спинного мозку	23
Висновок до розділу 1.....	28
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	29
2.1. Загальна характеристика пацієнтів із травмою спинного мозку	29
2.2. Методи дослідження	31
2.3. Методи лікування.....	41
2.4. Віддалені результати	43
2.5. Статистичний аналіз отриманих результатів.....	44
Висновок до розділу 2.....	44
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	47
3.1. Клінічна характеристика хворих зі спінальною травмою.....	47
3.2. Реабілітація пацієнтів із травмою спинного мозку шляхом застосування роботизованого комплексу Lokomat.....	55
3.3. Реабілітація пацієнтів із травмою спинного мозку шляхом застосування роботизованого комплексу Екзоскелет.....	55
3.4. Функціональна електростимуляція в пацієнтів, синхронізована з роботизованим комплексом Lokomat і екзоскелетом	57
Висновок до розділу 3.....	61
РОЗДІЛ 4. ПОРІВНЯЛЬНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ У КОМПЛЕКСНІЙ РЕАБІЛІТАЦІЇ ПАЦІЄНТІВ ІЗ ТРАВМОЮ СПИННОГО МОЗКУ	64

4.1. Порівняння результатів застосування Lokomat і Екзоскелет	64
4.4.1. Оцінка безпеки застосування роботизованих пристроїв.....	64
4.4.2. Динаміка показників неврологічного статусу щодо рухових функцій після курсу реабілітаційного лікування.....	66
4.4.3. Динаміка показників мобільності та самообслуговування у пацієнтів після проведеного курсу реабілітаційного лікування	68
4.4.4. Динаміка електроміографічних і біомеханічних параметрів у пацієнтів після реабілітаційного лікування	71
4.4.5. Динаміка показників психоемоційного статусу у пацієнтів після курсу реабілітаційного лікування.....	74
4.2. Аналіз віддалених результатів.....	75
4.3. Предиктори ефективності застосування роботизованих комплексів під час реабілітації пацієнтів із травмою спинного мозку	78
4.4. Практичні рекомендації щодо застосування досліджуваної програми.....	81
Висновок до розділу 4.....	83
ВИСНОВОК	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ASIA – Шкала порушень Американської асоціації травми спинного мозку
 FIM (Functional Independence Measure)
 Fсер. – середня станова сила
 KV – коефіцієнт варіації
 VFM – Valutazione Funzionale Mielolesi (Оцінювальна шкала для Хворих із Травмою Спинного Мозку)
 АТ – артеріальний тиск
 АЦП – аналого-цифровий перетворювач
 БВ – дистальні відділи
 ГСС – гомілковостопний суглоб
 ДАТ – діастолічний артеріальний тиск
 ЕКГ – електрокардіограма
 ЕМГ – електроміографія
 ЕМГсер. – середня величина електроміограми
 ЕНМГ – електронейроміографія
 ЕС – електростимуляція
 ЗУ – засоби управління
 ЗЦМ – загальний центр мас
 КС – колінний суглоб
 ЛГ – лікувальна гімнастика
 ЛФК – лікувальна фізкультура
 МКФ – Міжнародна класифікація функціонування, обмежень життєдіяльності та здоров'я
 МРС – медичні робото-технічні системи
 ПАК – програмно-апаратний комплекс;
 ПВ – проксимальні відділи
 РО – рухові одиниці;
 САН – самопочуття, активність, настрій
 САТ – систолічний артеріальний тиск
 СМ – спинний мозок
 ССС – серцево-судинна система
 СУ – система управління
 СШ – спінальний шок
 ТЕМЗ – тривалість електромеханічної затримки
 ТСС – тест станової сили
 ТСС – тазостегновий суглоб
 ТУСМ – травматичне ушкодження спинного мозку
 ТХСМ – травматична хвороба спинного мозку
 ФЕС – функціональна електростимуляція
 ХСМТ – хребетно-спинномозкова травма
 ЦМТ – циклічна механотерапія
 ЦНС – центральна нервова система
 ЧСС – частота серцевих скорочень
 МС – м'язова сила
 СПС – Середня потужність спектра ($\text{H}^2/\text{Гц}$)

ВСТУП

Актуальність теми. Рівень захворюваності та поширеності травми спинного мозку у світі за останні 10 зріс майже в чотирнадцять разів. За даними ВООЗ, щорічно до 500 тисяч осіб отримують травму хребта, ускладнену ушкодженням спинного мозку, і залишаються важкими інвалідами з несприятливим прогнозом відновлення ходьби. В Україні спінальна травма в загальній структурі травматизму трапляється з частотою 0,1 на 1000 населення, з них 70-80% залишаються інвалідами 1 і 2 груп, і цей вид травми посідає третє місце за частотою серед інших видів.

Одними з найважчих наслідків травматичної хвороби спинного мозку є парези і порушення функції ходьби різного ступеня. При цьому 80% пацієнтів із травмою – прерогатива осіб у працездатному віці від 17 до 45 років, що ще більшою мірою визначає необхідність їхньої реабілітації. Тривалість адаптації, фізичні витрати персоналу та зменшення тривалості перебування пацієнтів у реабілітаційній установі висуває підвищені вимоги до раціонального вибору та поєднання адекватних методів і засобів реабілітації, розроблення та створення роботизованих систем, що дають змогу поліпшити рухову функцію.

Твердження, що «ходьба тренується тільки в ходьбі» згадується в численних дослідженнях. В останнє десятиліття для відновлення ходьби широко застосовують локомоторні роботи-асистенти, в основу роботи яких покладено метод зовнішньої реконструкції ходьби з широкими можливостями моделювання рухів хворого в реальному масштабі часу. До подібних роботизованих пристроїв належить Lokomat, що здійснює рухи жорстко зафіксованих у ділянці таза, стегна і гомілок нижніх кінцівок біговою доріжкою, при цьому локомоторний патерн відповідає фізіологічним рухам тазостегнового, колінного і гомілковостопного суглобів. Однак, ходьба проводиться з повним або частковим розвантаженням маси тіла по рухомій поверхні і обмеженою або повною відсутністю переміщення

центру мас. Це значно обмежує осьове навантаження, не даючи змоги здійснювати складну координовану діяльність скелетних м'язів тулуба і кінцівок.

Справжньою революцією в реабілітації та розширенні безбар'єрного середовища для пацієнтів зі спінальною травмою стала поява екзоскелетів, що здійснюють автоматизовану фізіологічну ходьбу з повним осьовим навантаженням на нерухливій поверхні. Ці комплекси дають змогу пацієнтам відпрацьовувати циклічні рухи, задіяні під час ходьби, і контролювати горизонтальне і вертикальне переміщення центру маси. А синхронізоване застосування з реконструкцією патерну ходьби функціональної електростимуляції м'язів має клініко-біомеханічне обґрунтування і є ефективним методом у даного контингенту пацієнтів.

На сьогоднішній день відсутні опубліковані дослідження, які б підтверджували доцільність та ефективність застосування автоматизованої реконструкції ходьби в екзоскелеті у пацієнтів з наслідками травми спинного мозку, тому дана робота набуває особливої актуальності.

Мета дослідження: оцінити ефективність методики синхронізованого застосування екзоскелету й функціональної електростимуляції та розробити алгоритм реконструкції ходьби із застосуванням екзоскелету в комплексній реабілітації хворих із наслідками травми спинного мозку.

Завдання дослідження:

– вивчити ефективність методики синхронізованого застосування екзоскелету і функціональної електростимуляції щодо рухових функцій у пацієнтів зі спінальною травмою залежно від ступеня вираженості ознак, що характеризують центральний парез;

– вивчити вплив синхронізованого застосування екзоскелету й функціональної електростимуляції на динаміку показників мобільності та самообслуговування у пацієнтів із наслідками травми спинного мозку;

– оцінити динаміку електроміографічних параметрів м'язів-розгиначів кульшового суглоба та м'язів спини, а на основі аналізу відео-зображень – зміни

біомеханічних параметрів ходьби внаслідок курсового синхронізованого застосування екзоскелету та функціональної електростимуляції в пацієнтів зі спінальною травмою;

– оцінити динаміку психоемоційних порушень під впливом синхронізованої ходьби в екзоскелеті з функціональною електростимуляцією у пацієнтів з наслідками травми спинного мозку;

– розробити методику включення екзоскелета в комплексні програми лікування та реабілітації пацієнтів із наслідками травми спинного мозку.

Об’єкт дослідження: роботизована механотерапія з використанням екзоскелету.

Предмет дослідження: роботизована механотерапія з використанням екзоскелету з метою реабілітації хворих з неврологічною патологією (наслідками травми спинного мозку).

Методи дослідження: емпіричний (спостереження, порівняння, вимірювання, експеримент), теоретичний (аналіз, синтез, узагальнення, індукція та дедукція, аналіз і синтез), моделювання, клінічний, інструментальний.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає в розробці та оцінці реабілітаційної методики автоматизованої механотерапії для відновлення ходьби в екзоскелеті з ФЕС, а також можливості її застосування у відділеннях медичної реабілітації, реабілітаційних центрах, спеціалізованих санаторіях, на амбулаторному етапі.

Використання вищевказаного методу нейрореабілітації запобігає виникненню вторинних ускладнень, гіпотрофії м’язів, підвищує ефективність відновлення рухових функцій (тренування опорно-рухового та вестибулярного апаратів), скорочує строки реабілітації, мінімізує фізичне навантаження на інструкторів-методистів ЛФК у роботі зі спінальними хворими, сприяє формуванню компенсації обмежень життєдіяльності, спричинених порушенням опорно-рухового апарату та нервової системи. Технологія автоматизованої

механотерапії для відновлення ходьби в екзоскелеті забезпечуватиме безперервну рухову реабілітацію на стаціонарному та амбулаторному етапах.

Шляхи впровадження результатів роботи – розроблену методику включення екзоскелета з ФЕС у комплексні програми реабілітації хворих із ПТСМ впроваджено в клінічну практику відділення медичної реабілітації Центру фізіотерапії та реабілітації ADONIS м. Київ.

Особистий внесок у роботу. Внесок автора полягає в самостійному здійсненні планування роботи, визначенні її дизайну, відборі та клінічному обстеженні пацієнтів, виборі тактики терапевтичного впливу, лікуванні пацієнтів, аналізі джерел літератури, статистичній обробці матеріалу та інтерпретації отриманих результатів.

Структура та обсяг роботи. Роботу викладено на 87 сторінках машинописного тексту, ілюстровано 27 таблицями та 12 рисунками. Складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку умовних скорочень та списку використаних джерел літератури, що містить 63 джерела, зокрема 25 іноземних.

РОЗДІЛ 1.

СУЧАСНІ ПРИНЦИПИ РЕАБІЛІТАЦІЇ ПАЦІЄНТІВ ІЗ НЕВРОЛОГІЧНОЮ ПАТОЛОГІЄЮ (АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД)

1.1. Робототехніка та мехатроніка в медицині

Останніми роками мехатронні та роботизовані системи дедалі частіше застосовують у медицині, зокрема в медичній реабілітації.

Роботизованою системою називається комплекс електромеханічних, електрогідравлічних, електронних елементів і засобів обчислювальної техніки, які безперервно обмінюються інформацією та енергією. При цьому вся система управляється єдиною системою автоматичного управління (САУ) з елементами інтелектуального управління [1].

Робототехніка в медицині безперервно розвивається, що зумовлено науково-технічним прогресом і на тлі зростаючого інтересу до техніки та електроніки виникненням прогресивних ідей у галузі охорони здоров'я.

Роботизовані системи набувають широкого поширення, завдяки низці переваг, порівняно зі звичайними автоматизованими системами [2]:

- висока ефективність точних і складних рухів, що досягається в результаті застосування сучасних методів управління;
- підвищена надійність;
- поліпшені масо-габаритні та динамічні характеристики як результат спрощення кінематичних ланцюгів;
- підвищені ергономічні показники;
- низька вартість, за рахунок високого ступеня уніфікації та стандартизації всіх складових елементів;
- модульність, яка дає змогу комплектувати систему під конкретні завдання.

Останніми роками в багатьох країнах активно ведуться розробки мехатронних пристроїв медичного призначення. Медична мехатроніка знаходить основний напрямок розвитку в розробленні автоматизованих систем для медичної реабілітації, клінічних застосувань і виконання супровідних операцій.

Мехатронні системи медичного призначення також називають медичними робото-технічними системами (МРС), або медичними роботами. МРС можна поділити на такі категорії [3]:

- обслуговуючі (мобільні роботи, роботи-поводирі для слабозорих людей, роботи-доглядальниці тощо);
- реабілітаційні (маніпулятори та протези);
- клінічні (роботи-маніпулятори для діагностики та хірургічних операцій).

Основні напрямки розвитку робототехніки в медицині представлені на рисунку 1.1.



Рис. 1.1 Напрямки робототехніки в медицині

Мехатроніка і робототехніка являють собою сукупність ідей і концепцій, методів і засобів для розроблення механізованих комплексів певного призначення з можливістю інформаційного або інтелектуального управління [4]. Мехатроніка та робототехніка є системними напрямками, які формують будь-яку автоматизацію об'єктів людської життєдіяльності.

Мехатроніка об'єднує в одне ціле механіку, інформаційні технології та електротехніку. У результаті такого об'єднання виникає синергічний ефект. Міждисциплінарний характер мехатроніки дає змогу домогтися синергетичного ефекту на перетині всіх складових дисциплін, як це показано на рисунку 1.2.



Рис. 1.2 Діаграма міждисциплінарної структури мехатроніки

Зазвичай мехатроніку сприймають із робототехнікою як нерозривне ціле. Правильніше ж їх розділяти на самостійні дисципліни, об'єднані лише спільним предметом дослідження – робототехнічними системами, а також загальними методами дослідження і проектування [4].

У наші дні медицина – один із головних векторів для розвитку і впровадження робототехніки. Робототехніка отримала великий потенціал до розвитку в медичних застосуваннях завдяки високій точності, широким функціональним можливостям робототехнічних систем і забезпечуваних ними високої ними високої ефективності лікування, а також зниженням ризику заподіяння шкоди здоров'ю людини. Але незважаючи на всі досягнення мехатроніки та робототехніки в медицині, представники охорони здоров'я загалом погано обізнані про них. Дослідники та виробники рішень у галузі

робототехніки не завжди мають уявлення про реальні проблеми та потреби медицини [5].

1.2 Класифікація медичних роботів

Існує величезна безліч різноманітних медичних роботів, що задовольняють потреби спеціалізованих медичних напрямків. На основі цих напрямків і характеру вирішуваних ними завдань, можна вивести та сформулювати таку класифікацію медичних роботів [7-11]:

1. Медична діагностика та зображення:

– роботи для збору медичних зображень: використовуються для автоматичного отримання зображень з пацієнта для подальшого аналізу;

– роботи для допомоги у визначенні діагнозу: можуть допомагати лікарям або використовуватися для автоматичного аналізу даних.

2. Робот маніпулятор-лікар:

– робот-хірург: дає змогу автоматично точно і швидко керувати медичним інструментом, завдяки чому його застосовують для складних хірургічних операцій. допомагає підвищити ефективність і знизити навантаження на лікаря;

– теле-хірургічні системи: можливість виконання хірургічних втручань на відстані за допомогою роботів;

– роботи для міні-інвазивної хірургії: спеціальні роботи для виконання міні-інвазивних процедур (наприклад, лапароскопія).

3. Реабілітаційний робот – робот або роботизований маніпулятор: призначені для виконання комплексу вправ для прискорення відновлення під час реабілітації пацієнтів із відновлення під час реабілітації пацієнтів із захворюваннями різного характеру. характеру.

4 Апаратне забезпечення:

– екзоскелети: механічні конструкції, які допомагають підтримувати або зміцнювати фізичні можливості людини;

– біопротези: роботизовані пристрої для заміщення втрачених частин тіла.

Екзоскелети та роботизовані протези – складні електронно-механічні пристрої, що виконують функції частини тіла, яка втратила працездатність частини тіла, керовані від нервових закінчень, що володіють функціями штучного інтелекту.

5. Роботи помічники – роботи, що виступають альтернативою медичному персоналу, здатні виконувати обов'язки медичного персоналу, здатні виконувати обов'язки низької та середньої складності, які можуть бути точно алгоритмізовані.

Допоміжні роботи:

– роботи для транспортування матеріалів: використовуються для переміщення обладнання, медичних інструментів або пристроїв в лікарнях;

– роботи для подачі ліків: автоматизовані системи для точної і контрольованої подачі ліків пацієнтам;

– роботи для медичного навчання та навігації: використовуються для навчання медичним працівникам або для навігації в медичних закладах;

– роботи манекени – симулятори, що повторює анатомічну будову, функціональну структуру та реакції людини. Такі симулятори необхідні для проведення навчання медичного персоналу;

– медичні асистенти: роботи, які допомагають у наданні інформації пацієнтам або надають підтримку в інших аспектах лікування.

6. Медичні нанороботи - роботи настільки маленького розміру, що вони здатні виконувати медичні завдання прямо всередині людського організму організму.

Медичні роботи можна класифікувати за різними критеріями, такими як функціональність, застосування, апаратне забезпечення та тип втручання. Класифікація може варіюватися в часовому діапазоні, в залежності від конкретних перспективних технологій та інновацій в галузі медичної робототехніки.

1.3. Медичні наслідки хребетно-спинномозкової травми

Травматична хвороба спинного мозку в останні десятиліття є серйозною медико-соціальною проблемою [12, с. 5-8].

Частота спінальних травм зі сприятливим для життя результатом у світі коливається в середньому від 9 до 53 випадків на 1 млн. жителів. В Україні спостерігається неухильне зростання частки ушкоджень спинного мозку в структурі поєднаної травми. Так, відсоток ушкоджень спинного мозку в 2013 році становив 3%, у 2017-му – до 4%, у 2020-му – 2-5%, на початку 2023 року – 6-7% за поєднаної травми, а за ушкодження скелету – 5-20% [13]. Два і більше рівнів травма спинного мозку зачіпає в 10-12% випадків, множинні пошкодження трапляються у 34% пацієнтів [14, с. 52-9].

В Україні поєднані ушкодження зустрічаються в 22-70% випадків під час ДТП, стихійних лих, та до 58% внаслідок воєнних дій. У 18-61% причиною хребетно-спинномозкової травми є кататравма. У 63% випадків вік постраждалих становить від 16 до 30 років. Близько 80% пацієнтів із травмою молодше 40 років. Хребетно-спинномозкова травма (ХСМТ) у структурі загального травматизму трапляється в 0,7-8%, серед травм скелету – у 6,320,3% випадків [15].

За частотою серед усіх видів травм ХСМТ посідає третє місце (Лебедев В.В. и др., 2005). У різних частинах земної кулі частота спінальних травм коливається від 29-60 осіб на 1 млн. населення на рік. Чоловіки в 2,5-4 рази частіше отримують спінальні травми [16].

За останні 70 років кількість хворих із ХСМТ зросла в 200 разів, щорічно кількість «спікальників» в Україні зростає на 8000 осіб, а 70-80% стають інвалідами першої та другої груп. Рівень смертності спінальних хворих досягає 43%, і з віком збільшується показник летальності постраждалих [17].

Травматичне ушкодження спинного мозку (ТУСМ) призводить до серйозних змін життя людини. Це стосується не тільки основних процесів життєдіяльності (порушення дихальної та серцево-судинної системи (ССС),

рухових функцій, функціонування тазових органів, трофічних порушень), а й кардинальним чином змінює якість життя пацієнта, його сім'ї, вимагає адаптації до абсолютно нових соціальних, економічних, професійних та юридичних умов [18].

До клінічних симптомів ПСМТ належать порушення рухових функцій, до ускладнень спінальної травми – інші найважливіші синдроми, що її супроводжують [18, с. 292-4].

Судинні та нейротрофічні зміни є наслідком порушення іннервації тканин і органів. Пролежні – значуще ускладнення, що виникає у хворих із травмою спинного мозку і ускладнює проведення реабілітаційних заходів. Лікування пролежнів часто вимагає проведення хірургічних втручань. До нерідкого ускладнення ХСМТ, що виникає в 11-76 % пацієнтів зазвичай у перші місяці після травми, належить гетеротопічна осифікація. Локалізуються осифікати переважно в сполучній тканині між м'язами, в ділянці великих суглобів кінцівок. Відкладення осифікатів супроводжуються набряком, больовим синдромом, підвищенням температури тіла, спричиняють обмеження рухливості аж до анкілозу [20].

Пошкодження спинного мозку дуже часто супроводжують порушення функції тазових органів і проявляються розладами дефекації та сечовипускання від 11 до 100% пацієнтів; нерідко ускладнюються висхідною урологічною інфекцією та можуть призвести до летальних наслідків [21].

Травма спинного мозку призводить до порушення іннервації та формування синдрому нейрогенного сечового міхура. Залежно від співвідношення порушення тону детрузора і сфінктера, неузгодженості їхньої роботи, слабкості м'язів тазового дна та черевної стінки, виділяють 2 типи нейрогенної дисфункції – атонічний і гіперактивний міхур. Одним із ускладнень є автономна дисрефлексія, що являє собою потужну симпатичну реакцію, яка виникає у відповідь на больові або інші стимули у пацієнтів із рівнем ураження спинного мозку вище Th6. Іншим грізним ускладненням, що призводить нерідко до летальних наслідків, є тромбоз

глибоких вен, що виникає за різними даними у 47-100% хворих на ХСМТ [22, с. 661-4].

Кіфосколиотична деформація, вивихи, підвивихи, нестабільність хребтового стовпа, патологічні переломи, зміни в суглобах і зв'язках, між-хребцевих дисках, вторинний стеноз хребетного каналу з компресією спинного мозку – це ортопедичні ускладнення травми спинного мозку. Нерідко ці ускладнення призводять до обмеження мобільності, подальших прогресуючих порушень провідності спинного мозку, функціональної неспроможності хребта, до формування больових синдромів, що вимагає проведення лікування в будь-які терміни після отримання спінальної травми [21].

Інфекційно-запальні ускладнення є ще одними наслідками травми спинного мозку, які можуть загрожувати життю пацієнта, обмежувати реабілітацію. Цей вид ускладнень потребує своєчасної діагностики та терапії. До інфекційно-запальних ускладнень належать: уросепсис, трофічні порушення шкірних покривів (пролежні), симптоми автономної дисрефлексії; порушення функції кишківника, сечового міхура, ортопедичні проблеми [23, с. 267-8].

Однак, у хворих із ХСМТ провідним клінічним симптомокомплексом є руховий дефіцит унаслідок центрального паралічу. Він визначає функціональні обмеження, інвалідність і загалом – тяжкість стану. Рівень і тяжкість ушкодження спинного мозку визначають обсяг рухових порушень у пацієнтів із ХСМТ. Пошкодження хребта на рівні С1-С4 спричиняє тяжкі рухові порушення аж до спастичного тетрапарезу, призводить до порушення всіх видів чутливості, функцій тазових органів, дихальної системи. Пацієнти, які вижили, потребують респіраторної підтримки – штучної вентиляції легень, і мають повністю порушений ступінь самообслуговування. Пошкодження на рівні шийного потовщення (С5-С8) спричиняють млявий верхній парапарез, нижній парапарез зі спастичним тонусом, стійкі порушення функцій тазових органів і больовий синдром у кінцівках. На пошкодження нижньо-шийного відділу хребта (С3-С7) припадає найбільша частина травм [24].

У разі локалізації травми у верхньому грудному відділі характерне зниження функції дихальної мускулатури й ослаблення її діяльності. У разі травми на рівні від 3 до 5 грудних хребців можуть проявлятися порушення функції серцево-судинної системи.

У випадку травми на середньому грудному рівні формується нижній парапарез зі спастичним м'язовим тонусом, синдром Броун-Секара (на боці травми порушено рухову функцію, рефлекси та глибоку чутливість, на контрлатеральному відмічають випадання поверхневих видів чутливості).

Млявий нижній парапарез, розлад чутливості в нижніх кінцівках, у паховій ділянці, порушення функціонування тазових органів, формування пролежнів виникають у разі травми на нижньому грудному (Th10-Th12) і поперековому (L1-L2) рівнях. У разі пошкодження на цьому рівні велика ймовірність того, що пацієнт зможе вертикалізуватися і пересуватися самостійно, без допомоги інвалідного візка [25, с. 614-22].

За травми на рівні нижньо-крижового відділу (S3-S5) порушень рухової функції не виявляють, однак визначають розлади функцій тазових органів, чутливості в ділянці промежини. У разі пошкодження кінського хвоста приєднуються больовий синдром у нижніх кінцівках, мляві парези або плегія нижніх кінцівок, атрофії м'язової системи. Ця категорія пацієнтів має найбільший відсоток відновлення ходьби [25, с. 110-11].

У пацієнтів із ХСМТ страждає не тільки мобільність, а й закономірно порушується побутова активність, розвиваються проблеми психоемоційного характеру – наростають депресія, тривожність, іпохондрія.

Постійно ведеться пошук методів лікування, здатних ефективно знизити соціальні та медичні наслідки травми спинного мозку, і це є одним із провідних напрямів медичної реабілітації.

1.4. Сучасні принципи реабілітації пацієнтів із травмою спинного мозку

Травматична хвороба спинного мозку (ТХСМ) – комплекс оборотних або необоротних змін, що настають після гострого ушкодження речовини спинного мозку або судин, оболонок і корінців, що супроводжується реологічними й лікворо-динамічними розладами та призводить до часткового чи повного порушення провідності спинним мозком і його корінцями [27]. Можна сказати, що ТБСМ – це зміни в організмі, що настали після хребетно-спинномозкової травми і пов'язані з нею.

Внаслідок механічного ушкодження спинного мозку та його судин під час травми вмикається каскад взаємообумовлених реакцій, що формує симптомо-комплекс ХСМТ. У найгострішому періоді травми (від 12 до 24 годин) відбувається розширення судин, викид біологічно активних речовин(простагландинів, катехоламінів), що спричиняють пошкодження структур спинного мозку. Контузія спинного мозку супроводжується субдуральними та екстрадуральними крововиливами. У спинному мозку макроскопічно виявляються набряк, розм'якшення, геморагії або некроз. З плином часу формується демієлінізація, руйнуються аксонні зв'язки, відбувається ексудативне просочування еритроцитами, лімфоцитами, лейкоцитами. Зміни зачіпають кілька сегментів як вище, так і нижче рівня травми. Набряк і гостра реакція на ушкодження тривають кілька тижнів. Поступово абсорбуються крововиливи, клітини просочуються фагоцитами. Травматична гематомієлія та геморагії локалізуються в сірій речовині й згодом на цьому рівні формуються інтрамедулярні кісти. Протягом двох років триває стадія відновлення, коли формуються кісти, гліоз або фіброз. Фіброзними тканинами зона пошкодження заміщується протягом п'яти років і більше. Відбувається проліферація в навколишніх тканинах, що супроводжується хронічним адгезивним арахноїдитом. Згодом розвиваються посттравматичні неврони ушкоджених корінців, посттравматична синрингомієлія, формується вторинний спінальний стеноз у поєднанні з утворенням остеофітів, або вторинних деформацій хребта [28].

Ступінь ушкодження спинного мозку – один із найважливіших прогностичних чинників реабілітації цієї категорії пацієнтів. Виділяють неповне і повне (анатомічна перерва) пошкодження спинного мозку. Визначити вид ураження дуже складно в ранні терміни травматичної хвороби. Остаточний висновок про ступінь і обсяг ушкодження спинного мозку можна зробити в більш пізньому періоді, після завершення спінального шоку. У зв'язку з цим, на ранніх термінах говорять про синдром неповного або повного перериву спинного мозку. Залежно від рівня травми клінічна симптоматика буде різною. Згідно з думкою деяких авторів, відсутність рухів і чутливості в крижових сегментах є симптомом повного анатомічного перериву спинного мозку [29].

Найбільш явно клінічні прояви відновлення функцій спинного мозку, виражені різною мірою залежно від тяжкості його ушкодження, спостерігаються в пізній період. Цей період починається з 3-4-х місяців і триває довгий час, характеризується завершальною фазою рубцювання й утворення кіст, триваючими деструктивними та регенераторними процесами в нервовій тканині [30, с. 267-84].

Реабілітаційні заходи засновані на сучасних даних про репарацію в центральній нервовій системі. Відновлення та компенсація порушених неврологічних функцій відбувається внаслідок зміни структурно-функціональної організації нервової тканини (пластичності нейрональних структур) як під впливом власне ушкодження, так і під впливом довготривалих зовнішніх впливів, до яких належать поведінкові та фармакологічні втручання [31, с. 158-66].

В основі сучасної концепції пластичності мозку лежать два принципи: полісенсорна функція нейронів та ієрархія структур нервової клітини. Взаємодія двох форм функціональної організації (генетично детермінованої та рухомої) відіграє важливу роль у здійсненні та відновленні функції. Пластичність реалізується за рахунок реактивного синаптогенезу, додаткової арборизації, збільшення синаптичної активності, що стимулює ріст нових дендритних шипиків і філоподій [32, с. 403-22].

До чинників, що поєднуються з добрим відновленням, можна віднести усунення ушкодження спинного мозку – стиснення, фіксацію і сирингомієлічні кісти. Крім того, необхідно виключити невиправдані хірургічні операції. Оперативне лікування не показане, якщо є задовільний клінічний результат на тлі консервативного лікування, за помірних деформацій або якщо в пацієнта відсутня мотивація до поліпшення рухових можливостей [33, с. 300-1].

До головних принципів реабілітації відносять ранній початок реабілітаційних заходів; систематичність і тривалість; комплексність і мультидисциплінарність; активна участь у реабілітації пацієнта та його близьких [34, с. 80-1].

Ранній початок реабілітації сприяє максимально швидкому і повному відновленню функціонального дефекту. Розпочинати реабілітаційні заходи необхідно якомога раніше, після стабілізації стану хворого, для запобігання розвитку феномену «невикористання», який поряд із клінічними проявами самої травми є додатковою причиною розвитку функціональних, а згодом – стійких органічних порушень. Втрата часу призводить до гіпокінезії пацієнта, утворення стійких патологічних функціональних змін у різних системах організму. Це значно ускладнює, а іноді повністю зупиняє подальший відновлювальний процес, призводить до зниження мотивації хворого, розвитку іпохондричних і невротичних станів, тривожно-депресивних розладів, соціальної дезадаптації особистості [36].

Під час здійснення реабілітації пацієнтів із ТУСМ необхідно безупинно підтримувати рівень пускової аферентації з усіх груп пропріорецепторів, коригувати спастичність, щоб невелика спастичність дозволяла запобігати м'язовій і кістковій атрофії. Головним завданням у цьому є пускова аферентація з пропріорецептрів суглобів (рання, систематична, покрокова вертикалізація) і м'язів (вправи пасивні, активно-пасивні та активні). Сюди також включаються вправи з використанням засобів полегшення виконання рухів (слін-терапія, гідрокінезотерапія, ходьба на медичному тредмілі з вертикальним розвантаженням

маси тіла, механотерапія), функціональна електростимуляція м'язів, заняття на тренажерах за параметрами ЕНМГ та гоніометрії, використання роботизованих пристроїв [37, с. 41-5].

До основних завдань відновлення пацієнтів із ТУСМ також необхідно віднести: (1) створення сприятливих умов для перебігу регенеративних процесів у спинному мозку; (2) нормалізацію вегетативної регуляції та порушеного метаболізму; (3) профілактику й лікування ускладнень з боку дихальної, серцево-судинної, сечовидільної систем; (4) установлення контрольованих актів сечовипускання й дефекації, відновлення статевої потенції; (5) запобігання й терапію пролежнів і деформацій опорно-рухового апарату; (6) профілактику і лікування гіпотрофії м'язів; (7) дестабілізацію патологічних систем, гальмування патологічних рухів і статичних установок; (8) активізацію процесів відновлення та/або компенсації дефекту; (9) формування здатності самостійного пересування, функціональне ортезування; (10) набуття навичок самообслуговування; (11) психологічну корекцію і соціальну адаптацію; (12) професійну перепідготовку і раціональне працевлаштування.

На кожному етапі реабілітації – свої завдання кінезотерапії. Наприклад, на 1 етапі до важливих завдань можна зарахувати: максимально ранню активізацію пацієнтів, профілактику патологічних станів (наприклад, утворення контрактур), пов'язаних із гіпокінезією ускладнень (пролежнів, тромбозів глибоких вен нижніх кінцівок, застійних явищ у легенях), формування рухової активності. До першочергових завдань 2 етапу належать: подальше вироблення активних рухів, зменшення патологічного м'язового тону, подолання синкінезій, відновлення ходьби, збільшення толерантності до фізичних навантажень, тренування стійкості вертикального положення, відновлення навичок самообслуговування [38, с. 3-11].

Ефективність реабілітації залежить від своєчасного початку відновного лікування, правильної оцінки реабілітаційного потенціалу в пацієнта з ТУСМ, правильної координації та узгодженості дій різних фахівців у здійсненні реабілітаційного курсу. Реабілітаційний процес об'єднує фахівців, які працюють

як єдина злагоджена команда. Це забезпечує дотримання спільного підходу до постановки цілей і виконання завдань реабілітації. До складу мультидисциплінарної бригади зазвичай входять: нейрохірург, невролог, терапевт (кардіолог), травматолог-ортопед, уролог, лікар з ЛФК та спортивної медицини, лікар-фізіотерапевт, лікар функціональної діагностики, дієтолог, інструктор-методист з ЛФК, клінічний психолог, ерготерапевт, медична сестра з фізіотерапії, навчені правилам догляду медичні сестри. Важливе місце в реабілітаційній бригаді для пацієнтів із ТУСМ посідає служба технічної підтримки, що забезпечує налагодження та контроль за обладнанням як для самого процесу реабілітації, так і для конструювання пристроїв для додаткової опори та переміщення пацієнтів, полегшення виконання необхідних функцій у побуті та самообслуговування. Головним координатором роботи всієї бригади є лікар-невролог, який пройшов спеціальну підготовку з питань медичної реабілітації [39].

Необхідною організаційною особливістю реабілітаційного процесу є правильне облаштування приміщень для пацієнтів із ТУСМ. Важливо створити «безбар'єрне середовище» для безперешкодного переміщення пацієнтів. Воно включає в себе достатню ширину коридорів, дверних прорізів, ліфтів; достатню площу палат, ванних кімнат для хворих, реабілітаційних залів, приміщень для приймання їжі хворими; відсутність порогів; наявність додаткових поручнів і відбійників на стінах; комфортне розташування вимикачів, кнопок виклику, за можливості наявність гучномовного зв'язку пацієнта з медичним персоналом; зручне обладнання ванної кімнати для здійснення гігієнічних процедур, нековзке покриття підлоги; додаткові пристрої, які дають можливість безперешкодно переміщатися пацієнту з пацієнткою; додаткові пристрої, які дають можливість безперешкодно переміщатися пацієнту. Реабілітаційні заходи мають проводитися в приміщеннях, що відповідають санітарно-гігієнічним та іншим нормативам. Обов'язковими складовими елементами реабілітаційного процесу є зали для індивідуальної лікувальної гімнастики, зал механотерапії, для роботизованої

механотерапії, для тренувань на тренажерах із біологічним зворотним зв'язком, приміщення для фізіотерапії, приміщення для ерготерапії, працетерапії, психотерапії, соціальної реабілітації та, за можливістю, басейн для проведення гідрокінезотерапії [40].

Таким чином, головною метою реабілітації пацієнтів із ТУСМ є правильна діагностика рухових функцій, що збереглися, комплексне лікування наявних порушень і ускладнень, контроль часу досягнення максимально можливого для даного хворого рівня компенсації порушених функцій, а згодом розгортання заходів із соціальної абілітації. При цьому важливою умовою реабілітації є активна участь хворого та його згода, а в разі неієздатності пацієнта - згода найближчих родичів на виконання реабілітаційного курсу.

1.5. Механотерапія рухового дефіциту при травмї спинного мозку

Першочерговою причиною інвалідизації та функціональних обмежень є порушення рухів унаслідок центрального парезу, а також ускладнення, що розвинулися внаслідок гіпокінезії. Одним з ефективних методів відновного лікування пацієнтів із ПСМТ є механотерапія [41, с. 321-3].

Механотерапія – одна з форм ЛФК, яку використовують уже понад 150 років. Механотерапія – це метод додаткового локального впливу на опорно-руховий апарат, в основі якого використовуються вправи на спеціалізованих апаратах [42, с. 26-37].

Виокремлюють 2 основні типи механотерапевтичних пристроїв – пасивного й активного типу. До принципів роботи апаратів активної дії належать: (1) принцип використання тяги вантажу – блоку; (2) принцип використання інерції – маятника; (3) принцип використання ізокінетичного режиму м'язової роботи [43, с. 252-5].

Нині найбільший науковий інтерес викликають апарати пасивної дії. У багатьох клінічних дослідженнях показано, що пасивні рухи змінюють процеси

гальмування в центральній нервовій системі (ЦНС) і активізують формування правильного рухового патерну. У пацієнтів, яким здійснювали пасивні згинання та розгинання в суглобах на апараті, було встановлено локальне розгальмовування кіркових ділянок. Використання у хворих із ТУСМ автоматизованих пасивних велотренувань викликає нормалізацію електрофізіологічної активності мотонейронів, зменшує рівень спастичності [44, с. 336-9].

До механотерапевтичних тренажерів циклічної пасивноактивної дії відносять наліжкові та стаціонарні, які працюють за допомогою електричного або пневматичного приводу. До них належать тренажери Thera-Vital, Motomed, Orthorent тощо. Ефективність впливу зумовлена тим, що пасивний рух у суглобі здійснюють за індивідуально підбраною схемою з певною амплітудою і швидкістю, за відсутності активного скорочення навколо-суглобових м'язів-стабілізаторів суглоба.

Відновлення функцій верхніх кінцівок за ТУСМ залишається серйозною і на сьогоднішній день не до кінця вирішеною проблемою. Розроблено роботизовані комплекси для відновлення функції паретичної руки, підвищення інтенсивності та відтворюваності рухів. До таких тренажерів для реабілітації функції верхньої кінцівки слід віднести Amadeo, T-WREKS, Armeo Power, Mitmanus та інші [45].

Методики кінезотерапії зустрічаються в наукових роботах, що стосуються реабілітації після травм і захворювань верхніх кінцівок; розроблено функціональні тренажери для відновлення кисті, різні програми кінезотерапії (Новиков А.В., 2003). Однак методології кінезотерапії при парезах верхніх кінцівок, зумовлених ТУСМ, на сьогодні не існує [46, с. 822-41].

Найбільш серйозним порушенням рухової функції у пацієнтів із ТУСМ, що обмежує їхню життєдіяльність, є порушення ходьби. Велика кількість пацієнтів із нижнім парапарезом може самостійно пересуватися з опорою на спеціальні зовнішні технічні засоби, тому відновлення ходьби за нижньої параплегії обговорюється у вітчизняній літературі. До того ж, відсутність самостійної

ходьби тягне за собою формування трофічних і урологічних порушень, і, як наслідок, психологічних проблем [47].

Більш ефективними на етапі ранньої реабілітації є циклічні роботизовані пасивно-активні тренування в комбінації з вертикалізацією на Erigo (Hocoma AG). Erigo – це стіл-вертикалізатор з інтегрованим роботизованим ортопедичним пристроєм, що дає змогу одночасно проводити вертикалізацію пацієнта (від 0 до 80 градусів) та інтенсивну циклічну рухову терапію у вигляді пасивних динамічних рухів нижніх кінцівок. Безпека пацієнта забезпечується завдяки фіксації тулуба на системі за допомогою спеціального пояса, стегон за допомогою манжетів, а стопи встановлюються на регульованих опорах, сполучених із пружинами. Механічні приводи, що пересувають ноги пацієнта, управляються комп'ютером. Рухи лінійних приводів відповідають фізіологічним рухам у тазостегновому, колінному і гомілковостопному суглобах, які можна порівняти з патерном ходьби. Навантаження регулюється за допомогою розтягування пружини: у положенні розгинання кульшового і колінного суглобів вплив пружини і, відповідно, навантаження максимальний, у положенні згинання вплив припиняється. Під час використання цього методу в пацієнтів із неповним ушкодженням спинного мозку було відзначено зниження спастичності, розроблення контрактур, стабілізацію гемодинаміки, збільшення здатності до самостійної ходьби [48, с. 54-62].

У разі стабілізації гемодинаміки та адаптації пацієнта до вертикального положення, переходять на наступний етап реабілітації – відновлення навичок ходьби. Положення «ходьба тренується тільки в ходьбі» підтверджується у великій кількості досліджень. Ходьба по біговій доріжці з розвантаженням маси тіла, на думку багатьох дослідників, - один із головних методів формування навички ходьби, тренуванням цілеспрямованого, специфічного стереотипу. Заняття на тредмлі з розвантаженням маси тіла сприяють постійному проходженню пускових аферентних імпульсів до стовбура мозку і супраспінальних локомоторних центрів, що, своєю чергою, сприяє ефективному

відновленню функції ходьби. А також виключає патологічні імпульси, які формуються під час компенсаторно-зміненого руху паретичної кінцівки. У пацієнтів із повним переривом спинного мозку сегментарна чутлива імпульсація, що виникає під час навантажень на біговій доріжці, може формувати електроміографічний сигнал під час використання цієї методики, що в результаті дає змогу покращувати циклічність кроків під час ходьби з розвантаженням маси тіла [49, с. 428-38].

Раніше було доведено, що нейропластичність активується в процесі багаторазового та цілеспрямованого повторення одного й того самого руху. А за повного пошкодження спинного мозку під час відновлення рухових функцій на перший план виходить активація спінального генератора, що досягається шляхом тривалого цілеспрямованого тренування рухового акту. Унаслідок цього в сучасній реабілітації пацієнтів з ураженням головного та спинного мозку активно знайшли застосування локомоторні роботизовані системи. У процесі тренування на роботизованих тренажерах відбувається цілеспрямоване тренування з великою кількістю повторень одного й того самого рухового акту, внаслідок чого відбувається активація нейропластичності та спінальних генераторів локомоторної активності. До тренажерів для відновлення функції ходьби належать такі: Lokomat, Gait Trainer, LokoHELP, Rehabot, Lopes, GEO-System, Haptic Walker тощо [50].

Деякі дослідження показують, що роботизовані тренажери для відновлення функції ходьби є необхідними в реабілітації пацієнтів із неповним пошкодженням спинного мозку. Ці апарати покращують функцію ходьби і підвищують її якість у хворих із неповним переривом спинного мозку. При цьому показано, що поліпшення зберігаються до 8 тижнів після закінчення реабілітаційного курсу. Досліджено, що пацієнти з низькою швидкістю ходьби досягають найкращих результатів у збільшенні швидкості ходьби та подоланій ними відстані [51].

За останнє десятиліття стрімко зросла кількість наукових публікацій, у яких показано ефективність роботизованої локомоторної механотерапії в реабілітації

ходьби порівняно з традиційними методами. Останнім часом найбільшого поширення і застосування в клінічній практиці для відновлення функції ходьби в пацієнтів із тяжкими руховими порушеннями набули асистувальні автоматизовані екзоскелети, які дають змогу здійснювати фізіологічну схему (патерн) ходьби нерухливою поверхнею.

Відомо, що екзоскелет – це пристрій, призначений для поповнення порушених або втрачених функцій, збільшення сили м'язів людини та розширення амплітуди рухів завдяки зовнішньому каркасу та привідним елементам. Основним майданчиком розробок, як і в попередні роки, залишається застосування цих пристроїв у військовій промисловості.

Цікаві практичні результати в галузі військового застосування продемонстровані в Каліфорнійському університеті в Берклі. Проєкт під назвою HULC (Human Universal Load Carrier) націлений на створення екзоскелету, що підвищує вантажопідйомність і швидкість пересування солдатів з повним бойовим викладенням. Екзоскелет дає можливість переносити вантаж до 90 кг протягом 1 години із середньою швидкістю 5 км/год. і можливістю короточасних кидків зі швидкістю до 16 км/год. Таким чином, основною метою створення екзоскелетів у військовій промисловості є забезпечення броні, яка поєднує в собі вогневу міць і захист, забезпечує рухливість і швидкість людини, а також у кілька разів збільшує її силу [52, с. 143-51].

Іншим напрямком, де знаходять своє застосування екзоскелети, є медична реабілітація. Екзоскелети використовують для реабілітації людей з обмеженими руховими можливостями. Найважчими наслідками травм спинного мозку є центральні паралічі та порушення функції ходьби. Більшість пацієнтів є особами працездатного віку, що визначає необхідність їхньої реабілітації. Тривалість адаптації та фізичні витрати медичного персоналу стали передумовою до розробки роботизованих пристроїв, що поєднують ранню мобілізацію з руховою активністю. Однак, справжньою революцією в розширенні безбар'єрного

середовища для таких пацієнтів стала поява екзоскелетів, здатних ходити по нерухомій поверхні [53].

Отже, екзоскелет EksoGT демонструє позитивні результати в реабілітації спінальних хворих і, відтак, його неможливо однозначно віднести до асистуючих пристроїв. Враховуючи клінічну ефективність екзоскелета, можна розглядати цей апарат і як терапевтичний роботизований пристрій.

Висновок до розділу 1

1. Робототехніка та мехатроніка в медицині використовуються для розробки та впровадження медичних роботів та мехатронічних пристроїв у системи діагностики, лікування та реабілітації пацієнтів. Це сприяє автоматизації та покращенню ефективності медичних процесів.

2. Медичні роботи класифікуються за функціональністю, застосуванням та типом втручання. Включають хірургічні роботи, допоміжні роботи, системи діагностики та зображення, апаратне забезпечення та роботи для медичної допомоги та реабілітації.

3. Хребетно-спинномозкова травма може призводити до різних медичних наслідків, таких як параліч, втрата чутливості та різні функціональні порушення. Розуміння цих наслідків є важливим для ефективної реабілітації.

4. Реабілітація пацієнтів із травмою спинного мозку базується на індивідуальному підході та використанні сучасних методів. Вона включає фізіотерапію, окупаційну терапію, психологічну підтримку та використання новітніх технологій, таких як робототехніка.

5. Механотерапія є важливою складовою реабілітації пацієнтів із травмою спинного мозку. Це включає в себе використання спеціальних механічних пристроїв та робототехніки для відновлення рухової активності та функціональності.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Загальна характеристика пацієнтів із травмою спинного мозку

Дослідження проводили протягом 2022-2023 рр. на базі Центр фізіотерапії та реабілітації ADONIS м. Київ.

Обстеження провели 112 пацієнтам (79 чоловіків і 33 жінки) від 18 до 50 років (табл. 2.1), у пізньому періоді хребетно-спинномозкової травми на рівні грудного відділу хребта (у строки $6,5 \pm 0,4$ місяця після травми), із синдромом неповного пошкодження спинного мозку (за шкалою ASIA: B, C і D).

Таблиця 2.1

Розподіл пацієнтів залежно від статі та віку

Вік пацієнтів	Основна група (n=56)		Контрольна група (n=56)		Загалом
	чоловіки	жінки	чоловіки	жінки	
18-30	29	15	30	14	88
30-40	8	2	9	2	21
40-50	2	0	1	0	3
Загалом	39	17	40	16	112
Критерій відмінності Пірсона	$\chi^2 = 0,62; p > 0,05$				

Розподіл пацієнтів за групами – основною (n=56) і контрольною (n=56) – було проведено за допомогою послідовної рандомізації, залежно від наповнення реабілітаційної програми. Результати дослідження вихідного стану дали змогу зробити висновок про порівнянність основної та контрольної груп – достовірної відмінності в параметрах не було виявлено. Цей факт дав змогу отримати об'єктивну оцінку відмінностей в ефектах реабілітації пацієнтів цих груп після завершення курсу реабілітації.

Крім того, пацієнти обох груп (основної та контрольної) були розділені на підгрупи за ступенем порушення провідності спинного мозку за шкалою ASIA: B, C і D.

Відбір і виключення пацієнтів, яким надавали медичну допомогу в рамках дослідження, проводили згідно з переліченими нижче критеріями включення, не включення і виключення.

Критерії включення пацієнтів:

- вік: від 18 до 50 років;
- стать: чоловіки та жінки;
- зріст: від 160 до 190 см;
- вага: не більше 100 кг;
- період захворювання: від 3 місяців після травми;
- рівень ураження: грудний відділ хребта;
- ступінь порушення провідності за ASIA: B, C, D;
- ступінь парапaresу: від 0 до 3 за 5-ти бальною шкалою;
- зміна м'язового тонусу: до 3-х балів за шкалою Ешворта;

Критерії не включення пацієнтів:

- гострі інфекційні захворювання, гарячковий синдром;
- вісцеральна патологія у стадії декомпенсації;
- гострий тромбоз, тромбофлебіт, лімфедема нижніх кінцівок 2-3 ст., варикозне розширення вен або трофічні порушення в місцях кріплення елементів роботизованих пристроїв;
- пароксизмальні порушення свідомості;
- підвищення м'язового тонусу в нижніх кінцівках (більше 3-х балів за шкалою Ешворт) або її наростання під час фізичного навантаження;
- недостатність кровообігу вище ІІА класу;
- пароксизмальна форма миготливої аритмії;
- інфаркт міокарда менше 6 місяців тому;
- напади стенокардії спокою або ішемія міокарда в спокої на ЕКГ;

- атріовентрикулярна блокада I ступеня;
- синусова брадикардія (ЧСС нижче 50 уд./хв.) і тахікардія (ЧСС вище 90 уд./хв.);
- неконтрольована артеріальна гіпертензія;
- когнітивні та мовні порушення, що перешкоджають виконанню інструкцій;
- неконсолідовані переломи або нестабільність фіксуючих конструкцій хребта, остеосинтезу кісток таза, нижніх кінцівок;
- анкілози суглобів нижніх кінцівок
- гострий артрит, синовіт;
- наростаюча компресія спинного мозку і його корінців

Критерії виключення

- відмова пацієнта від участі в дослідженні;
- неможливість проведення біомеханічного обстеження (внаслідок неможливості виконати 2-3 кроки платформою за допомогою ходунків і додаткових ортопедичних пристроїв).

Небажаних побічних ефектів у процесі проведення клінічного дослідження зафіксовано не було.

За наявності патології, що відповідає критеріям не включення, пацієнта не допускали до клінічних досліджень.

2.2. Методи дослідження

Застосовували дві групи методів дослідження: для визначення безпеки та ефективності реабілітації.

До першої групи методів (оцінка безпеки) належали:

- лабораторні методи (загальний аналіз сечі, загальний аналіз крові з лейкоцитарною формулою, швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ), визначення глюкози в біохімічному аналізі крові);

– інструментальні методи (контроль АТ і ЧСС під час проведення тренування, ЕКГ з розшифровкою (CorolifaxGEM, NihonKonden, Японія); холтерівське моніторування ЕКГ (до 24 годин); ультразвукове дуплексне сканування вен нижніх кінцівок (VIVID 7, General Electric, USA).

До другої групи належали шкали, опитувальники та інструментальні методи, що дають змогу оцінити ефективність лікування.

Ступінь порушення провідності спинного мозку оцінювали за допомогою шкали ураження спинного мозку, розробленої Американською Асоціацією Спінальної травми ASIA (рис. 2.1). Ця шкала описує 5 ступенів порушення провідності спинного мозку, що позначаються латинськими буквами від А до Е [42, с. 26-37]:

	R	L	
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ключові м'язи
C2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
C3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
C4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
C5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Згиначі передпліччя
C6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Розгиначі зап'ястя
C7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Розгиначі передпліччя
C8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Згиначі пальців
T1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Абдуктори мізинця
T2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
T12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
L1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
L2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Згиначі стегна
L3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Згиначі коліна
L4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Тильні згиначі стопи
L5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Розгиначі великого пальця
S1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Підошовні згиначі стопи
S2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
S3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
S4-5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

0 = повний параліч
 1 = пальпаторне або видиме скорочення
 2 = активний рух, що не долає силу тяжіння
 3 = активний рух, що долає силу тяжіння
 4 = активний рух, що долає певний супротив
 5 = активний рух, що долає повний супротив
 NT = не тестували

Мимовільне скорочення ануса
 (Так/Ні)

Сума + = Рух
 (МАКСИМУМ) (50) (50) (100)

Рис. 2.1. Бальна оцінка рухового дефіциту згідно зі шкалою ASIA

Усім пацієнтам проводилося неврологічне обстеження з бальною оцінкою м'язової сили за шестибальною шкалою – Medical Research Council Scale [54, с. 307-16].

Неврологічне обстеження для визначення м'язового тону проводили з використанням Модифікованої шкали спастичності Ешворт – Modified Ashworth Scale of Muscle Spasticity [55].

Для оцінки рівня мобільності використовували індекс ходьби Хаузера [56, с. 263-75].

Для оцінки рівня самообслуговування та мобільності використовували функціональну оціночну шкалу для хворих із травмою спинного мозку VFM [57, с. 38-42]

Оцінка біомеханічних параметрів ходьби

Відновлення навіть примітивних навичок пересування здатне значно підвищити соціально-побутову адаптацію, знизити потребу пацієнта в сторонньому догляді. Біомеханіка є оптимальним методом дослідження ходи, що дає змогу контролювати відновлення втрачених функцій, проводити адекватне лікування.

Для дослідження параметрів ходьби на основі біомеханічного аналізу відеозображень, отриманих у процесі реєстрації відеосигналу, застосовували програмно-апаратний комплекс «Video analysis-3D Biosoft». До складу комплексу входять: 2 швидкісні відеокамери (частота реєстрації 50 Гц); блок синхронізації відеокамер; телеметрична електроміографія на 8 каналів; тест-об'єкт; світло-відбиваючі маркери; АЦП на 32 канали; силова платформа типу Kistler-9286 (виробництва Швейцарії); лампи інфрачервоного підсвічування, програмне забезпечення. Реакції опори під час ходьби пацієнтів реєстрували за допомогою платформи Kistler-9286 [57, с. 10-5]. Платформа була встановлена в середині локомоторної доріжки довжиною 5 м. Частота реєстрації реакції опори 1000 Гц. Для підтримки вертикальної пози пацієнти використовували індивідуальні ортопедичні пристрої та ходунки. Пацієнти проходили доріжкою 4-6 разів у комфортному темпі (рис. 2.2).

Для оцінки точності виставлення силової платформи параметрів, що реєструються, провели експеримент із нормальною ходьбою та оцінили три

складові реакції опори: горизонтальну поперечну силу (F_x), горизонтальну поздовжню силу (F_y) і вертикальну складову реакції опори (F_z).



Рис. 2.2. Ходьба з використанням ходунків при реєстрації біомеханічних параметрів

Динамічні параметри ходьби пацієнтів в ортопедичних пристроях істотно відрізняються за формою і тривалістю від аналогічних показників нормальної ходьби. Це пов'язано з тим, що пацієнти не можуть самостійно підтримувати вертикальну позу і переміщуються тільки в ортезах, що фіксують рухливість у гомілковостопному і колінному суглобах з опорою на ходунки. Для опрацювання реакції опор, зареєстрованих за допомогою платформи Kister-9826, було розроблено пакет програм, що дає змогу опрацювати динамічні характеристики тензодатчиків за горизонталлю і вертикаллю. Алгоритм обробки включав такі дії:

- приведення до нульової лінії;
- згладжування з метою виключення викидів медіанним фільтром за 15 точками.

По горизонталі (поздовжня складова) обробляли компоненти FY14 і FY23 ($F_y = FY14 + FY23$). По горизонталі (поперечна складова) обробляли компоненти FX12 і FX34 ($F_x = FY14 + FY23$). По вертикалі обробляли чотири складові: FZ1, FZ2, FZ3 і FZ4. Сумарні компоненти реакції опори дорівнюють:

$$F_y = F_{Y14} + F_{Y23}$$

$$F_x = F_{Y14} + F_{Y23}$$

$$F_z = F_{Z1} + F_{Z2} + F_{Z3} + F_{Z4}.$$

За зовнішніми кінематичними ознаками ходьба пацієнтів є індивідуально вираженою і відрізняється за темпом, тривалістю фази одноопорного контакту з опорою, довжиною кроку, силою опори на ходунки тощо. Тому, замість порівняння часових і динамічних параметрів ходьби оцінили спектральні характеристики опори пацієнтів. Основні переваги спектрального аналізу порівняно з амплітудно-часовим аналізом динамограми:

- не залежить від темпу ходьби;
- не залежить від розподілу ваги між верхніми і нижніми кінцівками;
- не залежить від тривалості фаз одноопорного і двоопорного відштовхувань;
- оцінює коливальний процес центру мас тіла людини за частотою та амплітудою.

Реєстрації міограми

Для реєстрації електричної активності м'язів, тензометричної інформації, використовувався програмно-апаратний комплекс «SportLab». Комплекс реалізує такі основні функції: визначення часових періодів електричної активності м'язів при різних рухових діях; оцінка амплітудних і спектральних характеристик електричної активності м'язів; визначення екстремумів, градієнтів і електричної вартості м'язового скорочення; оцінка початку та ступеня м'язового стомлення; визначення коефіцієнта реципрокності (відношення амплітуди синергіста до антагоніста); оцінка силових проявів м'язів (наприклад станової сили); кутових переміщень.

До м'язів, що випрямляють спину, відносять м'язи, що випрямляють хребет:

- клубово-реберний м'яз;
- довгий м'яз;

- поперечно-остистий м'яз, що складається з напівостистого м'яза, багато-роздільного м'яза та м'яза обертача попереку;
- великий поперековий м'яз;
- квадратний м'яз попереку.

До найпотужнішого м'яза, що бере участь у розгинанні тазостегнового суглоба, належить великий сідничний м'яз.

Паравертебральні м'язи, що візуально визначаються, - це м'язи, що випрямляють хребет, і багато-роздільні м'язи попереку. Найпотужнішим і найдовшим м'язом є м'яз, що випрямляє хребет, який розташовується вздовж усього хребта від крижів до потиличної кістки. Багато-роздільні м'язи заповнюють простір між остистими і суглобовими відростками хребців на грудному і верхньо-поперековому рівнях. Відносячись до поверхневого шару, вони добре контурують у вигляді вузького тяжа з боків від лінії остистих відростків (особливо в струнких людей). Латеральніше розташовується ширший тяж м'яза, що випрямляє хребет, а ще латеральніше – ділянка глибоко розташованого квадратного м'яза попереку. Багато-роздільні м'язи та м'яз, що випрямляє хребет, - м'язи позові, тому напружуються і стають добре контурованими під час нахилу вперед, коли вони утримують тіло від падіння.

ЕМГ-передпідсилювачі розташовані поруч із поверхневими електродами. Біоелектричний сигнал м'язів посилюється в 1000 разів. Смуга фільтрації 15-500 Гц. Частота передачі нативної міограми і показань силового датчика 1000 Гц. Реєстрували поверхневу електроміографічну активність м'язів спини і розгиначів тазостегнового суглоба. Ороговілий шар шкіри знімали абразивним матеріалом, потім обробляли спиртом. Використовували одноразові біполярні електроди Ag-Ag/Cl типу 3F01 (виробництва Skintact, Італія).

Електроди розташовували праворуч і ліворуч від хребта на рівні хребців T12-L1 і на великому сідничному м'язі з обох боків. Відстань між центрами електродів у ділянці хребта 30 мм.

Проводили реєстрацію електричної активності м'язів спини і м'язів-розгиначів тазостегнового суглоба. Силові характеристики м'язів спини реєстрували за допомогою: датчика Load cell, тип 333А, максимальна сила від 0 до 200 кГ; силового динамометра типу DS-200; діапазон вимірювання сили 0-200 кГ. Пацієнти виконували максимальну станову тягу в положенні сидячи.

Тест «Станова сила» (ТСС)

У стандартному виконанні тест ТСС: випробовуваний під час вимірювання сили тяги та електричної активності м'язів спини встає на опорну планку так, щоб вісь обертання вузла кріплення динамометра до опорної планки проходила позаду плюсне-фалангових суглобів. За допомогою сполучної планки-подовжувача підбирається висота положення динамометра таким чином, щоб його вимірювальна частина перебувала на рівні колінних чашечок. Взятись обома руками за ручку, пацієнт тягне її вгору якомога сильніше, розгинаючи тулуб у тазостегнових суглобах, при цьому ноги випрямлені в колінних суглобах. Кут нахилу тулуба від вертикалі 15-20°.

У цьому дослідженні пацієнти виконували модифікований ТСС у положенні сидячи, так як показано на рисунку 2.3. Було поставлено завдання розвинути послідовно максимальне зусилля. Тривалість однієї спроби 25-30 с. За цей час пацієнт виконує максимальну тягу 2-3 рази. Оцінювали середнє значення зусилля і стандартне відхилення. Приклад одночасної реєстрації електроміографічних сигналів м'язів спини і м'язів-розгиначів кульшового суглоба наведено на рисунку 2.3.



Рис. 2.3. Приклад одночасної реєстрації електричної активності м'язів спини і сили ПАК «SportLab». Зверху вниз, чотири нормовані міограми. Нижній графік – максимальна станова сила. Роздруківка з екрана монітора

Одночасно реєстрували силу та електричну активність м'язів спини та м'язів-розгиначів кульшового суглоба (великих сідничних м'язів). Тести проводили на початку дослідження та після 15 занять на роботизованих комплексах. Випробовувані розвивали максимальне зусилля при розгинанні тулуба в тазостегновому суглобі. Величину зусилля і плавність утримання сили контролювали за допомогою дзеркала так, як показано на рисунку 2.4.



Рис. 2.4. Виконання тесту «Станова сила»

Було розраховано відношення «середня сила / середня амплітуда міографі» ($F_{\text{сер}} / \text{EMG}_{\text{сер}}$) для проведеного тестування в перший день і після п'ятнадцятиденного курсу реабілітації. Обстеження проводили в останній день до занять у костюмі ЕхоАтлет, тобто оцінили накопичений ефект від попередніх 14 занять.

Інструментальні методи дослідження ходьби застосовували до всіх пацієнтів на початку курсу лікування і на 15-й день проведення реабілітаційних заходів на екзоскелеті ЕхоАтлет і роботизованому комплексі Lokomat.

Ступінь депресії оцінювали за допомогою Шкали Бека, під час інтерпретації даних враховують сумарний бал за всіма категоріями.

Для визначення рівнів реактивної та особистісної тривожності використовували тест Спілбергера-Ханіна. Під час інтерпретації показників можна використовувати такі орієнтовні оцінки тривожності:

- до 30 балів – низька;
- 31-44 бали – помірна;
- 45 і більше – висока.

Для оцінки самопочуття, активності та настрою використовували однойменний тест Шкала самопочуття, активність, настроїв (САН). Мета – оцінити

самопочуття, активність і настрої. Теоретична основа. Самопочуття (С) = сила + здоров'я + втома. Активність (А) = рухливість + швидкість + темп перебігу функцій. Настрої (Н) = характеристики емоційного стану:

- < 30 балів – низька оцінка;
- 30 - 50 балів – середня оцінка;
- 50 балів – висока оцінка.

Терміни проведення того чи іншого дослідження визначалися метою дослідження і представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Обсяг клініко-інструментального обстеження залежно в різні терміни

Візит	1-й день	5-7-й день	15-й день
Отримання поінформованої згоди	X		
Анамнез захворювання	X		
Встановлення реабілітаційного діагнозу	X		
Оцінювання критеріїв включення/не включення	X		
Фізикальне обстеження	X	X	X
Неврологічне обстеження з бальною оцінкою м'язової сили і тонусу	X	X	X
Консультації спеціалістів			
Приєм лікаря з лікувальної фізкультури первинний	X		
Приєм лікаря з лікувальної фізкультури повторний			X
Лабораторна діагностика			
Загальний аналіз сечі	X	X	X
Загальний аналіз крові (з лейкоцитарною формулою, без ШОЕ)	X	X	X
Швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ)	X	X	X
Біохімічний аналіз крові: визначення глюкози	X	X	X
Інструментальна діагностика			
ЕКГ із розшифруванням	X	X	X
Холтеровське моніторування (до 24 годин)	X		
УЗДС вен нижніх кінцівок	X		X
Оцінювання рівня самообслуговування та мобільності згідно зі шкалою VFM	X		X
Оцінка індексу ходьби Хаузера	X		X
Біомеханічний аналіз ходьби	X		X
Електроміографія (8 м'язів)	X		X
Оцінювання психологічних показників	X		X

2.3. Методи лікування

Курс комплексного реабілітаційного лікування становив 15 днів за семиденного робочого тижня (15 тренувальних днів).

В основній групі, крім традиційних індивідуальних занять лікувальною гімнастикою і циклічної пасивно-активної механотерапії, пацієнти проходили 15 тренувань в екзоскелеті EchoAtlet, синхронізованих із функціональною електростимуляцією м'язів нижніх кінцівок і м'язів спини (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Екзоскелет EchoAtlet

За допомогою екзоскелету, який закріплюється на людині як зовнішній скелет, пацієнти отримують змогу вставати, сідати, ходити, підніматися і спускатися сходами без сторонньої допомоги. Починаючи з третього-п'ятого днів тренувань пацієнти вже можуть самостійного надягати екзоскелет, який закріплюється на людині як зовнішній скелет, що дає змогу спростити роботу фахівця ЛФК, який проводить тренування. Каркас із датчиками кріпиться до нижніх і верхніх частин ніг.

Комп'ютер із системою управління та акумулятори, яких вистачає на 6-8 годин у режимі руху, розміщено ззаду. Вагу всієї конструкції (а це близько 20 кг)

пацієнт не відчуває, оскільки екзоскелет, призначений для автоматичної ходьби, несе і себе, і користувача з індивідуальною швидкістю і шириною кроку. Налаштування комфортної ходи можливе завдяки спеціально створеній адаптивній системі управління екзоскелета. Вхідні параметри, які задаються медичним фахівцем індивідуально під кожного користувача, допомагають екзоскелету робити крок певної ширини, висоти і з комфортною швидкістю.

У групі контролю, крім традиційних індивідуальних занять лікувальною гімнастикою і циклічної механотерапії, відновлення функції ходьби проводять на роботизованому комплексі Lokomat із системою розвантаження маси тіла, також синхронізованою з функціональною стимуляцією м'язів.

Нижче представлено роботизований пристрій Lokomat (рис. 2.6).

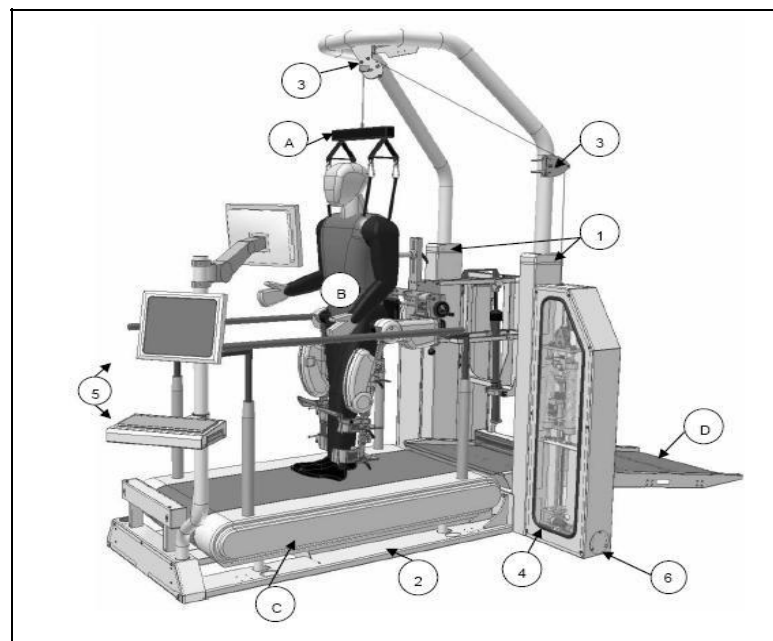


Рис. 2.6. Схема тренажера Lokomat

Щодо складових тренажера, зображеного на рисунку 2.6, бачимо:

А – фіксація системи розвантаження ваги;

Б – пояс;

С – транспортер;

Д – рампа;

1 – основні колони;

- 2 – основна пластина;
- 3 – блоки, що повертаються;
- 4 – блок для керування розвантаженням ваги;
- 5 – пульт керування;

6 – екстрена зупинка і спуск Lokomat оснащений програмним забезпеченням, яке забезпечує управління двигунами, розміщеними в ортезах у ділянці стегон і колінних суглобів. Двигуни забезпечують автоматизований і фізіологічний патерн ходьби, що відповідає нормальній кінематиці ходьби людини і синхронізований зі швидкістю полотна бігової доріжки.

Пацієнтом обох груп виконували функціональну електростимуляцію на апараті Accord, синхронізовану з ходьбою на Локоматі та в екзоскелеті.

Таким чином, програми реабілітації хворих у порівнюваних групах мали відмінності лише за одним видом лікування – наявністю в програмах реабілітації різних видів роботизованої механотерапії.

Модель дослідження подаємо на рисунку 2.7

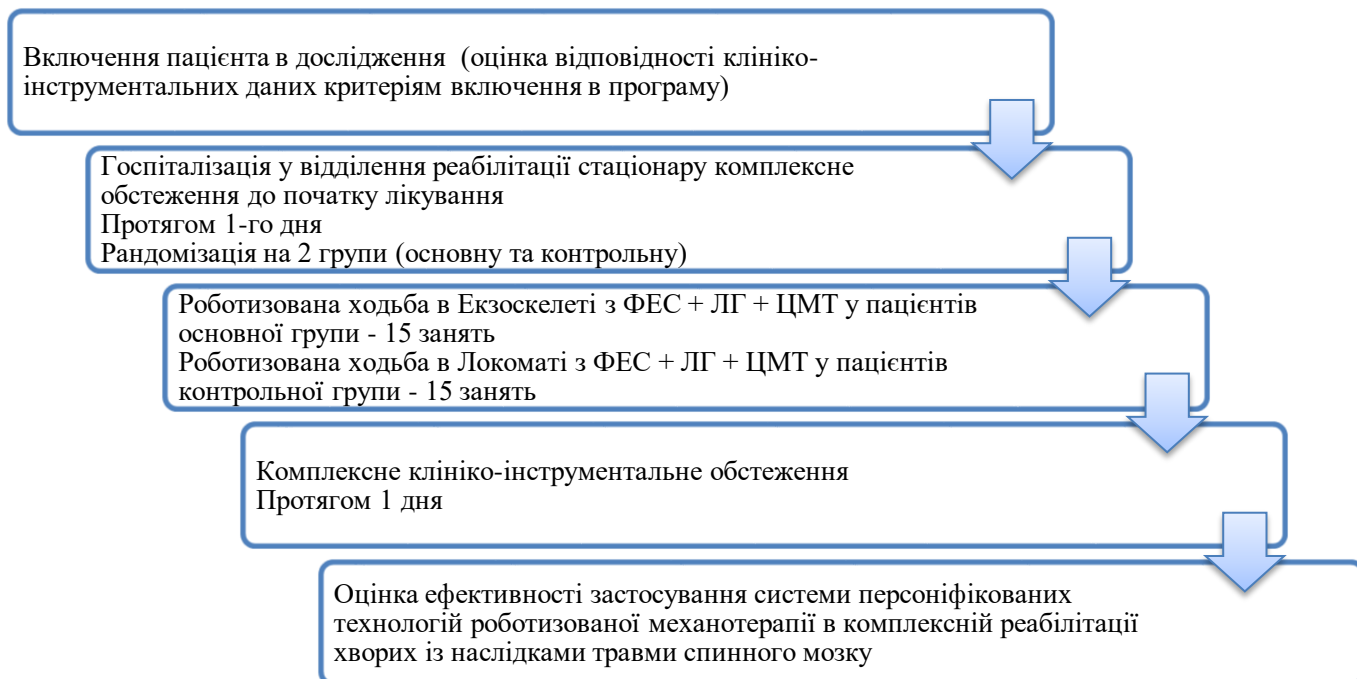


Рис. 2.7 Модель дослідження

2.4. Віддалені результати

Віддалені результати дослідження оцінювали через 6 і 12 місяців після проведеного курсу лікування на підставі даних індексу ходьби Хаузера, опитувальника для оцінки самообслуговування та мобільності за шкалою VFM і для оцінки психоемоційних порушень – самопочуття, активність, настрої (САН).

Аналіз власних досліджень відділених результатів розглянемо у розділі 4 даної роботи.

2.5. Статистичний аналіз отриманих результатів

Статистичний аналіз результатів дослідження проводили за допомогою пакета прикладних комп'ютерних програм IBM SPSS Statistics 28.

Достовірність відмінностей середніх значень отриманих показників визначали за допомогою критерію Стюдента, частоти зустрічальності ознаки – за точним методом Фішера, а зміни характеру розподілів того чи іншого параметра – за допомогою критерію χ^2 Пірсона.

Висновок до розділу 2

Дослідження проводили протягом 2022-2023 рр. на базі Центру фізіотерапії та реабілітації ADONIS м. Київ. Обстеження провели 112 пацієнтам (79 чоловіків і 33 жінки) від 18 до 50 років (табл. 2.1), у пізньому періоді хребетно-спинномозкової травми на рівні грудного відділу хребта (у строки $6,5 \pm 0,4$ місяця після травми), із синдромом неповного пошкодження спинного мозку (за шкалою ASIA: B, C і D).

Розподіл пацієнтів за групами – основною ($n=56$) і контрольною ($n=56$) – було проведено за допомогою послідовної рандомізації, залежно від наповнення реабілітаційної програми. Результати дослідження вихідного стану дали змогу зробити висновок про порівнянність основної та контрольної груп – достовірної

відмінності в параметрах не було виявлено. Цей факт дав змогу отримати об'єктивну оцінку відмінностей в ефектах реабілітації пацієнтів цих груп після завершення курсу реабілітації. Пацієнти обох груп (основної та контрольної) були розділені на підгрупи за ступенем порушення провідності спинного мозку за шкалою ASIA: B, C і D.

Відбір і виключення пацієнтів, яким надавали медичну допомогу в рамках дослідження, проводили згідно з переліченими нижче критеріями включення, не включення і виключення.

Застосовували дві групи методів дослідження: для визначення безпеки та ефективності реабілітації. До першої групи методів (оцінка безпеки) належали: лабораторні методи, інструментальні методи. До другої групи належали шкали, опитувальники та інструментальні методи, що дають змогу оцінити ефективність лікування.

Ступінь порушення провідності спинного мозку оцінювали за допомогою шкали ураження спинного мозку, розробленої Американською Асоціацією Спінальної травми ASIA.

Усім пацієнтам проводилося неврологічне обстеження з бальною оцінкою м'язової сили за шестибальною шкалою – Medical Research Council Scale. Неврологічне обстеження для визначення м'язового тону проводили з використанням Модифікованої шкали спастичності Ешворт – Modified Ashworth Scale of Muscle Spasticity. Для оцінки рівня мобільності використовували індекс ходьби Хаузера. Для оцінки рівня самообслуговування та мобільності використовували функціональну оціночну шкалу для хворих із травмою спинного мозку VFM. Проводились: оцінка біомеханічних параметрів ходьби, Реєстрації міографи, Тест «Станова сила».

Курс комплексного реабілітаційного лікування становив 15 днів за семиденного робочого тижня (15 тренувальних днів). В основній групі, крім традиційних індивідуальних занять лікувальною гімнастикою і циклічної пасивно-активної механотерапії, пацієнти проходили 15 тренувань в екзоскелеті

ЕхоАtлет, синхронізованих із функціональною електростимуляцією м'язів нижніх кінцівок і м'язів спини. У групі контролю, крім традиційних індивідуальних занять лікувальною гімнастикою і циклічної механотерапії, відновлення функції ходьби проводять на роботизованому комплексі Lokomat із системою розвантаження маси тіла, також синхронізованою з функціональною стимуляцією м'язів. Віддалені результати дослідження оцінювали через 6 і 12 місяців після проведеного курсу лікування.

Статистичний аналіз результатів дослідження проводили за допомогою пакета прикладних комп'ютерних програм IBM SPSS Statistics 28. Достовірність відмінностей середніх значень отриманих показників визначали за допомогою критерію Ст'юдента, частоти зустрічальності ознаки – за точним методом Фішера, а зміни характеру розподілів того чи іншого параметра – за допомогою критерію χ^2 Пірсона.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Клінічна характеристика хворих зі спінальною травмою

У дослідження було включено 112 пацієнтів (79 чоловіків і 33 жінки) у віці 18-50 років, у пізньому періоді хребетно-спинномозкової травми (ХСМТ) на рівні грудного відділу хребта (у строки $6,5 \pm 0,4$ місяця після травми), із синдромом неповного ушкодження спинного мозку (за шкалою ASIA – B, C і D). Рівень пошкодження хребта і спинного мозку – грудний відділ: Th3 – у 6,2% пацієнтів, Th4-5 – у 17,9%, Th6-7 – у 37,6%, Th8-12 – у 38,3%. Усім хворим було проведено операцію з декомпресії спинного мозку і стабілізації хребта. Під час комп'ютерної томографії хребта у всіх хворих відзначено спроможність стабілізаційної конструкції та адекватне термінам формування кісткової мозолі. У висновку нейрохірурга у всіх пацієнтів були відсутні протипоказання до проведення вертикалізації.

У обстежених хворих із ХСМТ у клінічній картині превалювали рухові розлади внаслідок центрального нижнього парапарезу, що визначало ступінь важкості, майбутню інвалідизацію та функціональні обмеження. Відповідно, страждає мобільність і самообслуговування, формуються порушення психологічного статусу (розвиваються депресія, тривожність, знижується настрій і активність). У пацієнтів із ХСМТ виявляють ускладнення внаслідок гіподинамії та неможливості підтримання вертикальної пози: застійні інфільтративні зміни в легенях, уро-інфекція, тромбози венозної системи, тромбемболія легеневої артерії, м'язові та кісткові контрактури, остеопороз, пролежні.

У дослідженні 10,7% хворих відповідали рангу B за шкалою ASIA, рангу C – 58%, рангу D – 31,3% пацієнтів. Розподіл пацієнтів залежно від ступеня порушення провідності спинного мозку представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Порушення провідності спинного мозку

Ступінь порушення	Основна група	Контрольна група
A	0	0
B	8	8
C	32	33
D	16	15
E	0	0
Критерій відмінності Пірсона	$\chi^2=0,46; p>0,05$	

Основна і контрольна групи включали по 56 пацієнтів кожна. Крім того, обидві групи були розділені на підгрупи залежно від ступеня порушення провідності спинного мозку за шкалою ASIA – B, C і D.

При оцінці рухової функції за шкалою ASIA на початку дослідження пацієнти обох груп мали відсутність рухів у нижніх кінцівках у пацієнтів підгрупи B та частково збережену функцію у пацієнтів підгруп C і D (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2

Оцінка рухового дефіциту за шкалою ASIA до курсу реабілітації

Ступінь порушення	Основна група у балах		Контрольна група у балах	
	до	KV	до	KV
B	50	0%	50	0%
C	57,06±0,55	5,5%	56,97±0,56	5,6%
D	74,72±0,64	3,6%	74,6±0,72	4%

Під час неврологічного обстеження хворих до відновного лікування нижній парапарез в обох групах був такий: у хворих рангу B відмічалася плегія, у підгрупі C і D – нижній парапарез до 3-х балів, причому м'язова сила в проксимальних відділах нижніх кінцівок перевищувала м'язову силу в дистальних відділах (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3

М'язова сила нижніх кінцівок до курсу реабілітації

Ступінь порушення	Основна група				Контрольна група			
	МС прокс.	KV	МС дист.	KV	МС прокс	KV	МС дист	KV
В	0	0	0	0	0	0	0	0
С	2,06±0,10	27,2%	0,89±0,05	31,5%	2,14±0,09	23,8%	0,91±0,05	31,9%
Д	2,61±0,11	18%	1,42±0,10	30,3%	2,68±0,09	14,6%	1,44±0,11	31,9%

Примітка: МС – м'язова сила; прокс. – проксимально; дист – дистально; KV – коефіцієнт варіації

М'язовий тонус у нижніх кінцівках у обстежених пацієнтів був підвищений за спастичним типом, оцінювався згідно з модифікованою шкалою Ешворт і не перевищував 3 балів. Середні значення показника м'язового тону нижніх кінцівок за шкалою Ешворт у групі «екзоскелета» становили 2,25±0,11 бала, у групі «Lokomat» - 2,18±0,12 бала (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4

**М'язовий тонус у нижніх кінцівках до курсу реабілітації
(за шкалою Ешворт)**

Ступінь порушення	Основна група		Контрольна група	
	М'язовий тонус	KV	М'язовий тонус	KV
В	2,33±0,17	17,6%	2,25±0,17	18,7%
С	2,30±0,07	17,4%	2,27±0,09	23,3%
Д	2,11±0,09	17,3%	2,03±0,11	22,2%

Примітка: KV – коефіцієнт варіації

Зниження мобільності виявлено в усіх пацієнтів. До реабілітації 20,5% пацієнтів підгруп В, С, Д відповідали градації 7 Індексу Гаузера (ходіння

обмежується кількома кроками з двосторонньою підтримкою, не проходить 8 метрів, може користуватися інвалідним візком), 68,75% - відповідали градації 6 (потрібна двостороння підтримка та більш ніж 20 секунд для подолання відстані у 8 метрів), 10,75% - градації 5 (під час ходіння потрібна підтримка з двох боків (палиці, милиці), проходить 8 метрів за 25 секунд і швидше; або необхідна підтримка з одного боку, але для проходження 8 метрів потрібно понад 25 секунд). Розподіл пацієнтів основної та контрольної груп відповідно до градацій Індексу представлено в таблиці 3.5.

Порушена мобільність пацієнтів зі спінальною травмою завжди нерозривно пов'язана зі зниженням рівня самообслуговування.

Таблиця 3.5

**Рівень мобільності до проведення курсу реабілітації –
Індекс ходьби Хаузера**

Групи	7	6	5
Основна група, пацієнти (%)	11 (19,6%)	39 (69,4%)	6 (11,0%)
Контрольна група, пацієнти (%)	12 (21,4%)	38 (67,9%)	6 (10,7%)
Коефіцієнт Пірсона	$\chi^2=0,25; p>0,05$		

Оцінивши рівень самообслуговування та мобільності хворих основної та контрольної груп за шкалою VFM, виявилось, що пацієнти підгруп В і С мають середньо-виражені обмеження (помірні утруднення, виконують 26-75% і більше завдань самостійно із середньо-значущими обмеженнями функції на 25-49%), а підгрупи D – легко-виражені обмеження (незначні труднощі, виконують самостійно із незначними обмеженнями функції на 5-24%, правильно виконують 76-96% завдань) – наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

**Самообслуговування та мобільність пацієнтів до курсу реабілітації
за шкалою VFM**

Ступінь порушення	Основна група		Контрольна група	
	VFM	KV	VFM	KV
B	180,17±1,30	1,8%	179,83±1,85	2,5%
C	191,41±0,82	2,4%	193,24±0,63	1,9%
D	206,11±1,19	2,4%	204,65±1,39	2,8%

Примітка: KV – коефіцієнт варіації

Основні складнощі для пацієнтів становили різні види переміщень, наприклад, з машини до крісла-коляски, висадка з машини; переміщення на унітаз та ін., самостійна ходьба, підйом та спуск сходами, деякі види одягання (переважно пов'язані з одяганням протезів або ортезів, інколи з одяганням/зняттям штанів, черевиків чи черевиків, туфель, шкарпеток, панчіх), складнощі у здійсненні особистої гігієни, контролю тазових органів, деяких соціальних навичок та ін.

Динамічні параметри ходьби пацієнтів в ортопедичних пристроях істотно відрізняються за формою і тривалістю від аналогічних показників нормальної ходьби (рисунок 3.1 та 3.2).

Це пов'язано з тим, що пацієнти не можуть самостійно підтримувати вертикальну позу і переміщуються тільки в ортезах, що фіксують рухливість у гомілковостопному і колінному суглобах, і з опорою на ходунки.

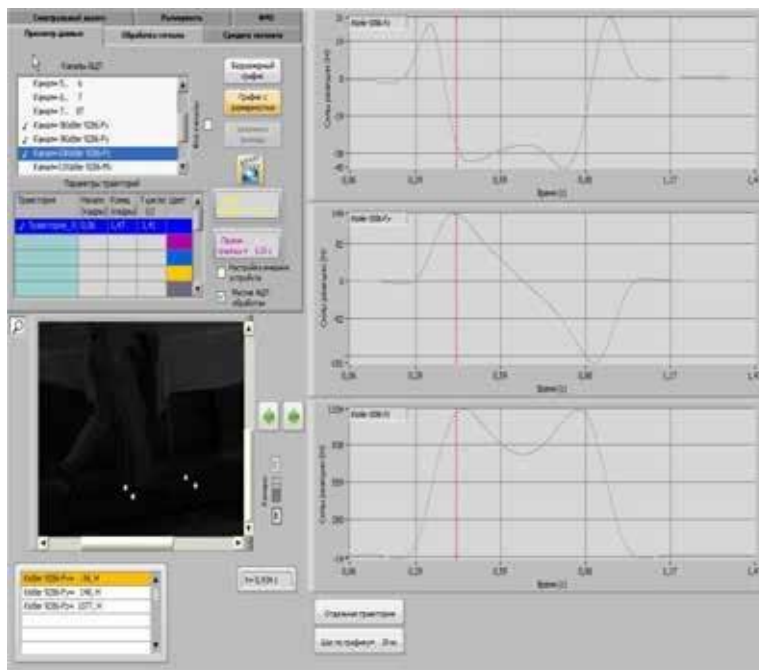


Рис. 3.1. Динамічні параметри нормальної ходьби. Вихідні дані опрацьовано в програмі "Biomechanics". Роздруківка з екрана дисплея

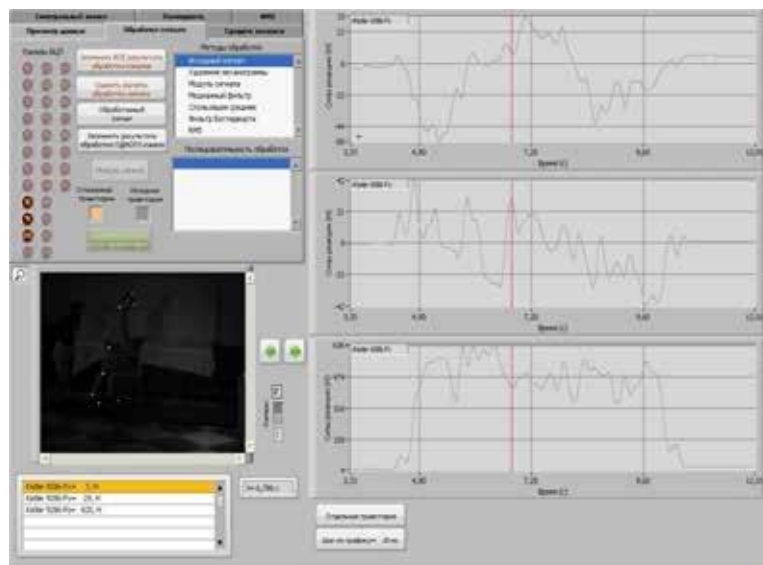


Рис. 3.2. Динамічні параметри ходьби пацієнтів в ортопедичних пристроях під час проведення досліджень. Дані опрацьовано в програмі "Biomechanics". Роздруківка з екрана дисплея

Оцінили спектральні характеристики опори пацієнтів.

Для чисельної оцінки спектра складових реакції опори використовували показник середня потужність спектра:

$$P_{\text{сум}} = \sum_{k=1}^N P_k / N$$

До початку лікування потужність спектральної щільності горизонтальної поперечної (F_x) складової реакції опори, потужність спектральної щільності горизонтальної поздовжньої (F_y) складової реакції опори та потужність спектральної щільності вертикальної складової (F_z) реакції опори в пацієнтів основної й контрольної груп наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

**Біомеханічні характеристики відео-зображень параметрів ходьби в
результаті курсового застосування екзоскелета у пацієнтів із наслідками
травми спинного мозку**

Ступінь порушення	Основна група			Контрольна група		
	СМС за $F(x)$, $H^2/\Gamma\text{ц}$ KV	СМС за $F(y)$, $H^2/\Gamma\text{ц}$ KV	СМС за $F(z)$, $H^2/\Gamma\text{ц}$ KV	СМС за $F(x)$, $H^2/\Gamma\text{ц}$ KV	СМС за $F(y)$, $H^2/\Gamma\text{ц}$ KV	СМС за $F(z)$, $H^2/\Gamma\text{ц}$ KV
В	20,67±0,85 10%	40,23±1,13 6,9%	3504±85,1 5,9%	20,97±0,88 10,3%	40,48±0,90 5,4%	3487±69,9 4,9%
С	13,00±0,41 17,9%	19,64±0,74 16,3%	3018±48,5 9,1%	12,93±0,39 17,2%	19,88±0,74 21,3%	2962±72,5 14%
D	9,36±0,50 22,6%	11,03±0,65 25,1%	1502±45,0 12,8%	9,02±0,59 27,1%	11,34±0,67 24,3%	1495±36,7 10,1%

Примітка: СМС – Середня потужність спектра ($H^2/\Gamma\text{ц}$);

KV – коефіцієнт варіації

Для реєстрації сили та електричної активності м'язів спини і м'язів, що розгинають тазостегновий суглоб, у цьому дослідженні пацієнти виконували модифікований ТСС у положенні сидячи. Було розраховано відношення «середня сила / середня амплітуда міографи» ($F_{\text{сер}} / EMG_{\text{сер}}$).

Середні значення для відношення $F_{\text{сер}} / EMG_{\text{сер}}$ для м'язів спини і великих сідничних м'язів праворуч і ліворуч у перший день курсу реабілітації становили:

– для пацієнтів основної групи: 11,62±0,33 Н/мкВ

– для пацієнтів контрольної групи: $11,77 \pm 0,31$ Н/мкВ.

Причому у пацієнтів підгрупи В це відношення було вищим, ніж у пацієнтів підгрупи С і D, що пов'язано з більшим ступенем порушення функції управління м'язами спини і м'язів, що розгинають тазостегновий суглоб (таблиця 3.8).

Таблиця 3.8

Електроміографічні параметри м'язів дорсальної поверхні спини та м'язів-розгиначів кульшового суглоба у пацієнтів до початку лікування

Ступінь порушення	Основна група		Контрольна група	
	сила сер. / середня амплітуда міограми, Н/мкВ	KV	сила сер. / середня амплітуда міограми, Н/мкВ	KV
В	$21,7 \pm 0,42$	4,8%	$22,0 \pm 0,34$	3,78%
С	$7,31 \pm 0,29$	22,6%	$7,30 \pm 0,30$	23,6%
D	$5,86 \pm 0,27$	19,5%	$6,01 \pm 0,30$	20,3%

Примітка: KV – коефіцієнт варіації

У всіх пацієнтів із ХСМТ виявлено порушення в психоемоційній сфері: рівень тривоги згідно з тестом Спілбергера-Ханіна відповідав $42,95 \pm 0,47$ бала (характеризує високу тривогу), за шкалою Бека депресію оцінювали в $23,68 \pm 0,52$ бала (відповідає вираженій депресії), показники тесту САН відповідали низькій оцінці самопочуття, активності та настрою - $24,84 \pm 0,48$ бала. У групі контролю отримано схожі показники: $43,50 \pm 0,50$; $23,80 \pm 0,57$ і $25,16 \pm 0,45$ бала (таблиця 3.9). Ці зміни, ймовірно, можна пояснити негативним психологічним впливом перебування в лікарні, «ефектом розчарування» оцінки свого стану, вимушеною зміною життєвого укладу.

Таблиця 3.8

**Оцінка психологічного статусу у хворих основної та контрольної груп
до початку лікування**

Параметри	Основна група		Контрольна група	
	М ± m	KV	М ± m	KV
Депресія (за шкалою Бека), бали	23,68±0,52	16,5%	23,80±0,57	17,9%
Тривожність (за тестом Спілбергера-Ханіна), бали	42,95±0,47	8,11%	43,50±0,50	8,50%
Самопочуття-Активність-Настрій, бали	24,84±0,48	14,4%	25,16±0,45	13,6%

3.2. Реабілітація пацієнтів із травмою спинного мозку шляхом застосування роботизованого комплексу Lokomat

Заняття на роботизованому комплексі Lokomat проводили щодня.

Тривалість процедури була порівняна з тренуваннями в екзоскелеті.

Спочатку курсу реабілітації ступінь розвантаження маси пацієнта у вертикальному напрямку становив 50% ваги пацієнта, швидкість ходьби – 1,5 км/год. і менше.

У разі формування адаптації та хорошої переносимості фізичних навантажень, відсутності погіршення соматичного статусу, пацієнту проводили ступінчасте (кожні наступні 2 заняття) ускладнення завдяки зниженню ступеня участі роботизованого пристрою у вертикальному розвантаженні, збільшенню швидкості ходьби і підвищенню часу тренування. Тривалість курсу становила 15 днів.

3.3. Реабілітація пацієнтів із травмою спинного мозку шляхом застосування роботизованого комплексу Екзоскелет

Інтенсивність тренувань становила 7 днів на тиждень. Тривалість курсу – 15 днів (загалом 15 процедур), час, відведений на тренування, від 1 години 30 хвилин на першому тренуванні, до 1 години надалі (завдяки скороченню часу на підгонку екзоскелета під індивідуальні параметри пацієнта).

Середня тривалість ходьби під час тренування: від 10 хвилин на першому тренуванні, поступово збільшуючи час до 50 хвилин, залежно від переносимості навантажень пацієнтом і оволодіння ним навичкою впевненої самостійної ходьби в екзоскелеті.

Перше тренування передбачало налаштування екзоскелета під пацієнта, його пере-налаштування, примірку і оволодіння першими навичками стійкого положення у вертикальному стані з використанням паралельних брусів.

Навички, що відпрацьовувалися на тренуваннях в екзоскелеті:

- підйом із підтримкою інструктора (перше заняття і всі наступні);
- збереження рівноваги у вертикальному положенні з опорою на бруси (перше заняття);
- перенесення ваги тіла з однієї ноги на іншу з опорою на бруси (перше заняття);
- ходьба в брусах на місці (перше та друге заняття), далі допустимо використовувати на початку тренування як «розминку»;
- ходьба в брусах вперед, поворот на місці (з першого по четверте заняття).
відпрацювання перестановки рук відповідно до фази руху під час ходьби;
- збереження рівноваги у вертикальному положенні з опорою на милиці (з другого по четверте заняття);
- перенесення ваги тіла з однієї ноги на іншу з опорою на милиці (з другого по четверте заняття);
- ходьба з опорою на милиці на місці (з другого по четверте заняття), далі можна використовувати на початку тренування як «розминку»;
- ходьба з опорою на милиці (з третього по п'яте заняття);

- відпрацювання перестановки рук відповідно до фази руху під час ходьби з милицями (перші два-три заняття після початку ходьби з милицями);
- відпрацювання навичок зміни траєкторії руху – вправа «змійка» проводиться в міру оволодіння пацієнтом навички впевненої ходьби в екзоскелеті з опорою на милиці (четверте-сьоме тренування);
- повороти без зупинки при ходьбі з милицями в міру оволодіння пацієнтом навички ходьби в екзоскелеті (четверте-сьоме тренування);
- сідання на стілець із підтримкою інструктора (перше і наступні заняття).

3.4. Функціональна електростимуляція в пацієнтів, синхронізована з роботизованим комплексом Lokomat і екзоскелетом

Основними корекційними впливами під час функціональної електростимуляції (ФЕС) під час ходьби в екзоскелеті та на Lokomat є корекція розгинання та відведення в тазостегновому суглобі в поєднанні з корекцією розгинання в колінному суглобі або з корекцією фронтально-сагітальних розгойдувань тулуба за допомогою відповідно великих та середніх сідничних м'язів, чотириголових м'язів стегна та крижово-остистих м'язів. Для ФЕС використовували апаратно-програмний комплекс багатоканальної програмованої програмованої електростимуляції м'язів низькочастотним імпульсним струмом «АКорД». Комплекс являє собою джерело низькочастотних біполярних імпульсів струму. До складу комплексу входять: інтерфейсний блок, мікропроцесорний 8-канальний переносний електростимулятор, датчики синхронізації, комунікаційні та з'єднувальні кабелі, електроди і фіксатори. Управління комплексом здійснюється персональним комп'ютером за допомогою програмного забезпечення, що входить до складу комплексу.

Мікропроцесорний 8-канальний переносний електростимулятор являє собою ударостійкий корпус із друкованою платою та акумуляторами.

Електростимулятор здійснює:

- генерацію імпульсів струму залежно від установлених параметрів електростимуляції;
- оперативне управління амплітудою імпульсів струму по всіх каналах під час сеансу електростимуляції;
- індикацію наявності синхронізації з фазами кроку;
- увімкнення і вимкнення сеансу електростимуляції.

Під час процедури електростимулятор забезпечує на кожному каналі за певною послідовністю чергування сигналу збудження і гальмування. Сигнал збудження складається з послідовності імпульсів струму. Кожен імпульс являє собою асиметричний біполярний імпульс із нульовою постійною складовою. Тривалість імпульсу струму (t) за рівнем 0,5 від максимальної амплітуди і становить 50-250 мс. Амплітуда (величина) імпульсу встановлюється регулятором сили струму від 0 до 100 мА. Частоту стимуляції встановлюють регулятором частоти стимуляції:

- низька частота – 50 Гц,
- середня – 65,
- висока – 80 Гц.

На всіх каналах встановлюється однакова частота.

Датчики слугують для синхронізації природної та штучної програм ФЕС. Оскільки ходьба являє собою циклічний акт, то необхідно розділяти цей акт на цикли, що реалізується за допомогою колінного або контактного датчика.

Контактний датчик розташовується під п'ятою всередині взуття.

Цикл ходьби в комплексі "АКорД" розбивається на 16 фаз (рисунок 3.3).

Електростимуляцію м'язів здійснюють у межах заданих початкової та кінцевої фази подвійного крокового циклу. Встановлення початкової та кінцевої фази здійснюється за допомогою програмного забезпечення для персонального комп'ютера, що входить до складу комплексу. Водночас ногу, на якій розташовано кутовий або контактний датчик, вважають провідною, а контра-

латеральну – веденою. Точкою відліку є максимальне значення колінного кута в переносну фазу кроку.

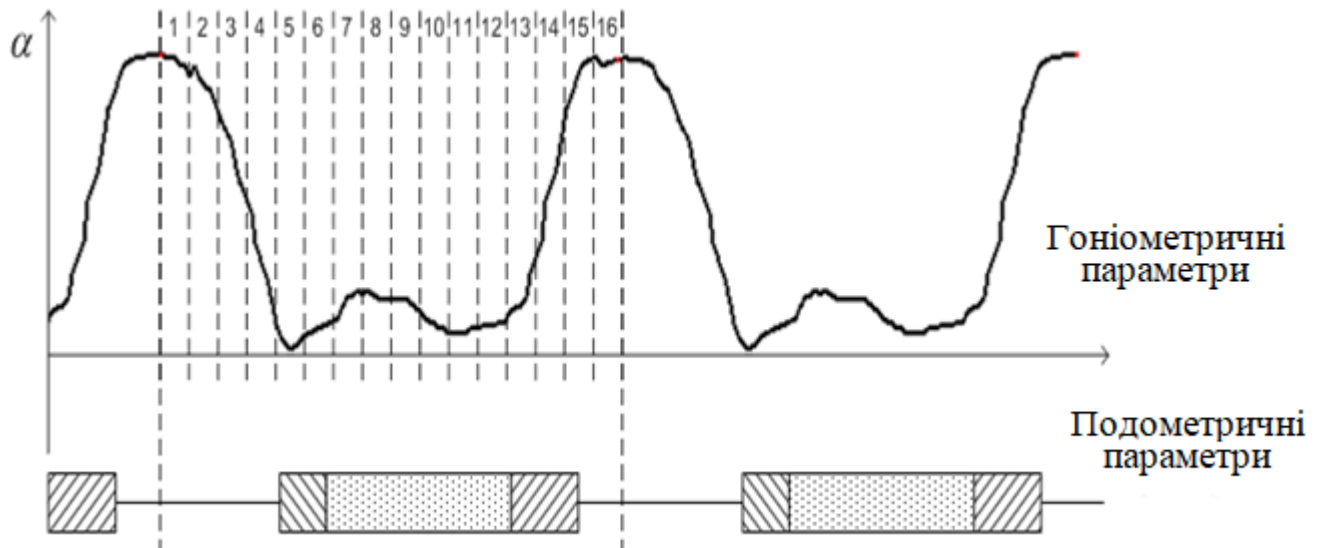


Рис. 3.3. Цикл ходьби в комплексі «АКорД»

Амплітудна програма електростимулятора має відповідати принципу достатності, під яким розуміється можливість отримання необхідної корекції за мінімально допустимої сили скорочення. У результаті всієї сукупності отриманих даних, хворим з ушкодженням спинного мозку на різних рівнях рекомендується застосовувати ФЕС таких параметрів прямокутних імпульсів:

- амплітуда напруги до 60 В або сила струму до 255 мА;
- тривалість імпульсу від 50 до 250 мс; частота проходження від 40 до 100 Гц.

Під час проведення ФЕС при ходьбі рекомендується виконати основні вимоги:

- тренування має відбуватися на виправленому периферичному тлі, що передбачає усунення контрактур у суглобах і зниження спастичності м'язів;
- тренування елементарних рухів на кшталт згинання-розгинання в суглобах, що передує руховому акту, слід здійснювати спочатку в ізометричному, а потім в ізотонічному режимі;

- до тренування слід залучати всі м'язи, які беруть участь у вправі, з метою отримання симетричного ефекту їхнього посилення;
- слід використовувати найменшу частоту подразнення, яка ще здатна викликати тетанічну відповідь м'язів.

Вибір коригованих рухів і стимульованих м'язів

Основною корекцією у всіх пацієнтів була корекція рухів у тазостегновому суглобі (ТСС), яку здійснювали за допомогою електростимуляції (ЕС) великого і середнього сідничного м'язів у першу половину опорної фази. Ця корекція підвищує стійкість хворого під час ходьби, сприяє випрямленню, відведенню і зовнішній ротації паретичної кінцівки, посилює її рухову активність, зменшує фронтальні та сагітальні розгойдування тулуба. Цю корекцію було проведено у 81% сеансів ФЕС (102 тренування).

Приблизно в 50% сеансів (62 тренування) корекція розгинання в ТСС поєднувалася з корекцією розгинання в колінному суглобі (КС). Корекція розгинання в КС досягалася за допомогою ЕС чотириголового м'яза стегна наприкінці переносної фази і в першій половині опорної фази. Корекція розгинання в колінному суглобі обумовлює опоро-здатність і посилення рухових функцій нижньої кінцівки. У разі пошкодження спинного мозку ЕС чотириголового м'яза стегна може стати основним корекційним впливом, оскільки цей м'яз порівняно з іншими виявляється більш збереженим.

Дуже важливу роль відігравала корекція фронтально-сагітальних розгойдувань тулуба, яку застосовували в 71% усіх сеансів (90 тренувань). Одночасна ЕС крижово-остистих м'язів наприкінці опорної та в першій половині переносної фаз зумовлює зменшення фронтальних і сагітальних коливань тулуба та підвищення стійкості хворих під час стояння і ходьби.

Меншу роль відіграє корекція інших рухів – корекція підшовного згинання за допомогою ЕС литкових м'язів (21 сеанс) і корекція тильного згинання в гомілковостопному (ГСС) за допомогою ЕС передніх великогомілкових м'язів (13 сеансів). Останнє пов'язано з різким ослабленням цих м'язів.

Режим електростимуляції м'язів під час ходьби хворих в екзоскелеті

Усі хворі пройшли 15-денний курс ходьби в екзоскелеті в поєднанні з ФЕС. Тривалість тренування не перевищувала 50 хвилин, а тривалість ЕС була однаковою у всіх хворих – 30 хвилин. За середнього темпу ходьби (36 крок./хв.) хворий отримував 540 стимуляційних посилок на кожен м'яз за сеанс. Середня швидкість ходьби в екзоскелеті дорівнювала 0.6 км/год. Отже, хворі проходили за сеанс 300 м, а за курс у середньому – 4,5 км.

Висновок до розділу 3

У дослідження було включено 112 пацієнтів (79 чоловіків і 33 жінки) у віці 18-50 років, у пізньому періоді хребетно-спинномозкової травми (ХСМТ) на рівні грудного відділу хребта (у строки $6,5 \pm 0,4$ місяця після травми), із синдромом неповного ушкодження спинного мозку (за шкалою ASIA – В, С і D). Рівень пошкодження хребта і спинного мозку – грудний відділ: Th3 – у 6,2% пацієнтів, Th4-5 – у 17,9%, Th6-7 – у 37,6%, Th8-12 – у 38,3%. Усім хворим було проведено операцію з декомпресії спинного мозку і стабілізації хребта. Під час комп'ютерної томографії хребта у всіх хворих відзначено спроможність стабілізаційної конструкції та адекватне термінам формування кісткової мозолі. У висновку нейрохірурга у всіх пацієнтів були відсутні протипоказання до проведення вертикалізації.

У дослідженні 10,7% хворих відповідали рангу В за шкалою ASIA, рангу С – 58%, рангу Д – 31,3% пацієнтів. Основна і контрольна групи включали по 56 пацієнтів кожна.

При оцінці рухової функції за шкалою ASIA на початку дослідження пацієнти обох груп мали відсутність рухів у нижніх кінцівках у пацієнтів підгрупи В та частково збережену функцію у пацієнтів підгруп С і D.

Під час неврологічного обстеження хворих до відновного лікування нижній парапарез в обох групах був такий: у хворих рангу В відмічалася плегія, у підгрупі С і D – нижній парапарез до 3-х балів, причому м'язова сила в

проксимальних відділах нижніх кінцівок перевищувала м'язову силу в дистальних відділах. М'язовий тонус у нижніх кінцівках у обстежених пацієнтів був підвищений за спастичним типом, оцінювався згідно з модифікованою шкалою Ешворт і не перевищував 3 балів. Середні значення показника м'язового тонузу нижніх кінцівок за шкалою Ешворт у групі «екзоскелета» становили $2,25 \pm 0,11$ бала, у групі «Lokomat» - $2,18 \pm 0,12$ бала.

Зниження мобільності виявлено в усіх пацієнтів. До реабілітації 20,5% пацієнтів підгруп В, С, D відповідали градації 7 Індексу Гаузера (ходіння обмежується кількома кроками з двосторонньою підтримкою, не проходить 8 метрів, може користуватися інвалідним візком), 68,75% - відповідали градації 6 (потрібна двостороння підтримка та більш ніж 20 секунд для подолання відстані у 8 метрів), 10,75% - градації 5 (під час ходіння потрібна підтримка з двох боків (палиці, милиці), проходить 8 метрів за 25 секунд і швидше; або необхідна підтримка з одного боку, але для проходження 8 метрів потрібно понад 25 секунд).

Оцінивши рівень самообслуговування та мобільності хворих основної та контрольної груп за шкалою VFM, виявилось, що пацієнти підгруп В і С мають середньо-виражені обмеження (помірні утруднення, виконують 26-75% і більше завдань самостійно із середньо-значущими обмеженнями функції на 25-49%), а підгрупи D – легко-виражені обмеження (незначні труднощі, виконують самостійно із незначними обмеженнями функції на 5-24%, правильно виконують 76-96% завдань).

Динамічні параметри ходьби пацієнтів в ортопедичних пристроях істотно відрізняються за формою і тривалістю від аналогічних показників нормальної ходьби. Це пов'язано з тим, що пацієнти не можуть самостійно підтримувати вертикальну позу і переміщуються тільки в ортезах, що фіксують рухливість у гомілковостопному і колінному суглобах, і з опорою на ходунки.

Середні значення для відношення $F_{сер} / EMG_{сер}$ для м'язів спини і великих сідничних м'язів праворуч і ліворуч у перший день курсу реабілітації становили:

для пацієнтів основної групи: $11,62 \pm 0,33$ Н/мкВ для пацієнтів контрольної групи: $11,77 \pm 0,31$ Н/мкВ. Причому у пацієнтів підгрупи В це відношення було вищим, ніж у пацієнтів підгрупи С і D, що пов'язано з більшим ступенем порушення функції управління м'язами спини і м'язів, що розгинають тазостегновий суглоб.

У всіх пацієнтів із ХСМТ виявлено порушення в психоемоційній сфері: рівень тривоги згідно з тестом Спілбергера-Ханіна відповідав $42,95 \pm 0,47$ бала (характеризує високу тривогу), за шкалою Бека депресію оцінювали в $23,68 \pm 0,52$ бала (відповідає вираженій депресії), показники тесту САН відповідали низькій оцінці самопочуття, активності та настрою – $24,84 \pm 0,48$ бала. У групі контролю отримано схожі показники: $43,50 \pm 0,50$; $23,80 \pm 0,57$ і $25,16 \pm 0,45$ бала.

Усі хворі пройшли 15-денний курс ходьби в екзоскелеті в поєднанні з ФЕС. Тривалість тренування не перевищувала 50 хвилин, а тривалість ЕС була однаковою у всіх хворих – 30 хвилин. За середнього темпу ходьби (36 крок./хв.) хворий отримував 540 стимуляційних посилок на кожен м'яз за сеанс. Середня швидкість ходьби в екзоскелеті дорівнювала 0.6 км/год. Отже, хворі проходили за сеанс 300 м, а за курс у середньому – 4,5 км.

РОЗДІЛ 4.
ПОРІВНЯЛЬНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ
РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ У КОМПЛЕКСНІЙ РЕАБІЛІТАЦІЇ
ПАЦІЄНТІВ ІЗ ТРАВМОЮ СПИННОГО МОЗКУ

4.1. Порівняння результатів застосування Lokomat і Екзоскелет

4.4.1. Оцінка безпеки застосування роботизованих пристроїв

У клінічній картині в пацієнтів обох груп діагностували рухові розлади, представлені залежно від рівня й ступеня пошкодження спинного мозку центральними парезами різного ступеня вираженості. Основною скаргою хворих була відсутність функції ходьби. При цьому пацієнти могли тривало перебувати у вертикальному положенні (від 40 хвилин до 1,5 годин). Під час візуального та УЗД обстеження м'яких тканин, великих суглобів (гомілковостопних, колінних, тазостегнових) нижніх кінцівок ушкоджень не виявлено.

У день початку занять і надалі не визначалися ознаки загальної запальної реакції за даними лабораторної діагностики. За час проведення курсу реабілітації під час ультразвукового дуплексного сканування в жодного з пацієнтів тромбозів вен нижніх кінцівок не виявлено.

Показники центральної гемодинаміки під час і після закінчення курсу реабілітації залишалися в межах нормально допустимих значень. АТ систолічний (САТ) у пацієнтів основної групи з $124 \pm 0,51$ до $113,9 \pm 0,19$ мм рт. ст., $p < 0,01$, АТ діастолічний (ДАТ) з $83,5 \pm 0,66$ до $75,6 \pm 0,2$ мм рт. ст., $p < 0,01$; САТ у пацієнтів контрольної групи – з $127,7 \pm 0,86$ до $115,4 \pm 0,35$ мм рт. ст., $p < 0,01$, ДАТ – з $87,5 \pm 0,5$ до $78,5 \pm 0,22$ мм рт. ст., $p < 0,01$ (таблиця 4.1).

Зниження артеріального тиску в пацієнтів із травмою спинного мозку є закономірним процесом, що відображає процеси стабілізації системної гемодинаміки [59]. Під час проведення тренування на екзоскелеті у 5 пацієнтів відмічалось зниження САТ на 20% і ДАТ на 15% на 1 і 2 тренуванні на $14,3 \pm 1,4$ і

24,4±2,1 хвилині відповідно. Однак починаючи з 3 тренування в цих пацієнтів і решти пацієнтів основної групи не відзначали стійких змін показників центральної гемодинаміки: САТ не піднімали вище за 135 мм рт. ст. і не опускали нижче за початковий рівень більш ніж на 10% від початкового, АТР не піднімали вище за 100 мм рт. ст. і також не опускали нижче за початковий рівень більш ніж на 5% (таблиця 4.2).

Таблиця 4.1

Динаміка показників гемодинаміки у пацієнтів основної та контрольної груп у різні періоди курсу реабілітації

Показники	Основна група			Контрольна група		
	1 день	5-7 день	15 день	1 день	5-7 день	15 день
САТ (мм рт. ст.)	124,0±0,51	118,2±0,39	113,9±0,19	127,7±0,86	118,4±0,23	115,4±0,35
ДАТ (мм рт. ст.)	83,5±0,66	78,5±0,81	75,6±0,20	87,5±0,50	79,5±0,76	78,5±0,22
ЧСС	72,51±0,74	78,2±0,57	77,2±0,65	75,2±0,62	75,8±0,52	76,4±0,56

Таблиця 4.2

Зміни показників центральної гемодинаміки протягом роботизованого тренування у хворих групи з включенням екзоскелета в хворих групи

Показники	1 хв.	5 хв.	10 хв.	15 хв.	20 хв.	25 хв.	30 хв.
САД (мм рт. ст.)	114±0,56	120±0,84	134±0,90	129±0,13	125±0,91	121±0,62	115±0,50
ДАД (мм рт. ст.)	78,3±0,72	82,4±0,55	98,7±0,79	92,2±0,14	87,1±0,39	82,8±0,28	80,3±0,46

Моніторинг ЕКГ дав змогу виключити значущі порушення серцевого ритму та ішемію міокарда у пацієнтів у процесі курсу ходьби в екзоскелеті. Перераховані вище факти дають змогу судити про безпеку включення в реабілітаційний комплекс екзоскелета.

4.4.2. Динаміка показників неврологічного статусу щодо рухових функцій після курсу реабілітаційного лікування

Під час проведення дослідження встановлено, що розроблена методика медичної реабілітації з використанням екзоскелета і роботизованого комплексу Lokomat чинить позитивну дію на ступінь парезу (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3

Динаміка зміни м'язової сили в основній і контрольній групах після реабілітаційного курсу

Ступінь порушення	Основна група		Контрольна група	
	МС прокс. До Після	МС дист. До Після	МС прокс. До Після	МС дист. До Після
В	0	0	0	0
С	<u>2,06±0,10</u> 2,17±0,08 +5,1%	<u>0,89±0,05</u> 1,19±0,07* +25,2%	<u>2,14±0,09</u> 2,26±0,08 +5,3%	<u>0,91±0,05</u> 1,12±0,06* +18,75%
Д	<u>2,61±0,11</u> 2,81±0,10 +7,1%	<u>1,42±0,10</u> 1,64±0,12* +13,4%	<u>2,68±0,09</u> 2,76±0,12 +2,9%	<u>1,44±0,11</u> 1,71±0,14* +15,8%

Примітка: надрядковими індексами відзначено достовірні зміни показника (* - порівняно з вихідним рівнем до лікування ($p < 0,05$); МС – м'язова сила; прокс. – проксимально; дист. – дистально)

На початку курсу реабілітації не відзначалося відмінностей у ступені нижнього пара-парезу в пацієнтів обох груп, цей факт підтверджує однорідність вибірки. У пацієнтів із ТУСМ на тлі проведення занять на екзоскелеті підгруп С і Д зафіксовано зниження ступеня парезу в проксимальних відділах на 5,1% і на 7,1%; у дистальних відділах на 25,2% і на 13,4% відповідно. У групі контролю під час використання реабілітаційної програми з включенням робота Lokomat у підгрупах С і Д також відзначено зниження ступеня парезу в проксимальних відділах нижніх кінцівок на 5,3% і на 3%; у дистальних відділах – на 18,7% і на 15,8% відповідно. Однак під час порівняння показників м'язової сили в

проксимальних і дистальних відділах нижніх кінцівок основної та контрольної груп достовірно значущих відмінностей виявлено не було.

Раніше в роботах авторів [36; 60] було також отримано позитивні результати щодо наростання м'язової сили в нижніх кінцівках після роботизованих тренувань, ніж за використання традиційних методик реабілітації.

По завершенні реабілітаційного курсу виявлено достовірно значущі зміни провідникової функції спинного мозку в пацієнтів підгрупи С згідно зі шкалою ASIA. В основній групі відзначається збільшення бальної оцінки рухової функції до $59,69 \pm 0,42$ балів, у групі контролю – до $59,48 \pm 0,47$ балів (таблиця 4.4). Отримані дані не суперечать проведеним раніше дослідженням (Дамінов В.Д., 2013 р.), у яких відзначалося поліпшення в провідниковій функції спинного мозку. У підгрупі D кількість довільних рухів збільшилася, однак, відмінності порівняно з вихідним станом не були достовірно значущими.

Таблиця 4.4

Оцінка рухового дефіциту за шкалою ASIA до і після курсу реабілітації

Ступінь порушення	Основна група (у балах)				Контрольна група (у балах)			
	до	KV	після	KV	до	KV	після	KV
B	50	0	50	0	50	0	50	0
C	$57,06 \pm 0,55$	5,5	$59,69 \pm 0,42^*$	4	$56,97 \pm 0,56$	5,6	$59,48 \pm 0,47^*$	4,5
	+4,4%				+4,2%			
D	$74,72 \pm 0,64$	3,6	$75,83 \pm 0,57$	3,2	$74,6 \pm 0,72$	4	$75,47 \pm 0,74$	4
	+1,5%				+1,2%			

Примітка: надрядковими індексами відзначено достовірні зміни показника (* - порівняно з вихідним рівнем до лікування ($p < 0,05$))

Після курсу локомоторного тренування з використанням екзоскелета відзначено зниження м'язового тонузу в нижніх кінцівках за шкалою спастичності Ешворта у пацієнтів підгруп В, С і D на 21,5%, на 34,8% і на 32,7% відповідно. Отримані результати порівняно з вихідними показниками мають достовірну значущість ($p < 0,05$). У пацієнтів контрольної групи після завершення курсу роботизованого тренування на Lokomat відзначено зниження м'язового тонузу в нижніх кінцівках у пацієнтів підгруп В, С і D за шкалою спастичності

Ешворта на 22,2%, на 36,1% і на 26,1% відповідно, і ці зміни також є достовірно значущими ($p < 0,05$).

Під час порівняння показників основної та контрольної груп (підгруп В, С і D) отримані відмінності у зміні м'язового тону не досягали достовірної значущості (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5

**Динаміка м'язового тону після курсу реабілітації
(за шкалою Ешворт)**

Ступінь порушення	Основна група До Після	Контрольна група До Після
В	<u>2,33±0,17</u> 1,83±0,17* -21,5%	<u>2,25±0,17</u> 1,75±0,17* -22,2%
С	<u>2,30±0,07</u> 1,50±0,09* -34,8%	<u>2,27±0,09</u> 1,45±0,08* -36,1%
D	<u>2,11±0,09</u> 1,42±0,09* -32,7%	<u>2,03±0,11</u> 1,50±0,11* -23,7%

Примітка: нарядковими індексами відзначено достовірні зміни показника (* - порівняно з вихідним рівнем до лікування ($p < 0,05$))

Було проаналізовано низку наукових праць, у яких відмічено позитивні результати у зміні м'язового тону за умови використання в комплексній реабілітації роботизованої механотерапії [36; 61, с. 511-24; 62, с. 349-54].

4.4.3. Динаміка показників мобільності та самообслуговування у пацієнтів після проведеного курсу реабілітаційного лікування

Зміни мобільності та потреби пацієнтів у пізньому періоді ТУСМ у допоміжних засобах пересування за індексом ходьби Гаузера виявили перевагу ходьби в екзоскелеті перед використанням роботизованої механотерапії на комплексі Локомат (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6

Динаміка індексу ходьби Хаузера після курсу реабілітації

Групи	7	6	5	4
Основна група, пац. (%)	3 (5,3 %)	16 (28,6 %)	28 (50 %)	9 (16,1 %)
Контрольна група, пац. (%)	9 (16 %)	37 (66,1 %)	8 (14,3 %)	2 (3,6 %)
Коефіцієнт Пірсона	$\chi^2 = 14,3; p < 0,01$			

9 пацієнтів основної групи з неповним переривом спинного мозку після реабілітаційного курсу могли самостійно ходити з односторонньою опорою без використання таторів для нижніх кінцівок (відстань у 8 метрів долали за 25 секунд і більше), що відповідало 4 градації Індексу. Значно знизилася кількість хворих (на 8 пацієнтів), які відповідали градації 7 (ходьба обмежувалася кількома кроками з двосторонньою підтримкою) і градації 6 (потрібна була двостороння підтримка і понад 20 секунд для подолання відстані у 8 метрів), збільшилася кількість хворих у підгрупі 5 (під час ходьби необхідна підтримка з двох боків (палиці, милиці), проходили 8 метрів за 25 секунд і швидше; або необхідна підтримка з одного боку, але для проходження 8 метрів потрібно було більше ніж 25 секунд). У групі контролю з односторонньою опорою могли самостійно ходити тільки 2 пацієнти, у категоріях Індексу 7, 6 і 5 зміни були менш значущими порівняно з основною групою (таблиця 4.6 і 4.7).

Досягнутий регрес клінічної симптоматики дав змогу пацієнтам основної групи розширити самообслуговування й мобільність, що підтверджено позитивною динамікою показників шкали VFM. В основній групі відмічено достовірно значуще ($p < 0,05$) збільшення бальної оцінки за шкалою у пацієнтів підгрупи В, С і D на 12,8%, 14,2% і 12,5% відповідно.

У групі контролю також відзначалися позитивні результати в підгрупах В, С і D – 3,4%, 5,2% і 4% відповідно (таблиця 4.8). Однак, під час порівняння основної та контрольної групи, група з включенням у реабілітацію екзоскелета мала достовірно значущу перевагу ($p < 0,05$).

Таблиця 4.7

Зміни індексу ходьби Гаузера після курсу реабілітації з екзоскелетом

№ групи	Оцінка мобільності та потреби в допоміжних засобах пересування (градації)				Критерій Пірсона χ^2
	До курсу		Після курсу		
	градація	%	градація	%	
Основна В, С, D	7	19,6	7	5,3	$\chi^2 = 14,3;$ $p < 0,01$
	6	69,4	6	28,6	
	5	11	5	50	
			4	16,1	
Контрольна В, С, D	7	21,4	7	16	
	6	67,9	6	66,1	
	5	10,7	5	14,3	
			4	3,6	

Таблиця 4.8

Динаміка показника самообслуговування та мобільності хворих основної та контрольної груп у процесі лікування за шкалою VFM

Ступінь порушення	Основна група		Контрольна група	
	До	Після	До	Після
В	<u>180±1,3</u>	<u>207±1,0*#</u>	<u>180±1,9</u>	<u>186±0,8*</u>
		+12,8%		+3,4%
С	<u>191±0,82</u>	<u>223±1,3*#</u>	<u>193±0,6</u>	<u>203±0,6*</u>
		+14,2		+5,2%
D	<u>206±1,2</u>	<u>236±1,7*#</u>	<u>205±1,4</u>	<u>213±0,7*</u>
		+12,5%		+4,0%

Примітка: нарядковими індексами відзначено достовірні зміни показника (* - порівняно з вихідним рівнем до лікування ($p < 0,05$); # - порівняно з динамікою показника в контрольній групі ($p < 0,05$)).

Отримані дані не суперечать роботі Морозова І. М. [63], де в пацієнтів зі спінальною травмою було достовірно підвищене самообслуговування і мобільність, як і в нашому дослідженні, переважно за рахунок поліпшення

переміщення по кімнаті, особистої гігієни, виконання звичної щоденної активності.

4.4.4. Динаміка електроміографічних і біомеханічних параметрів у пацієнтів після реабілітаційного лікування

Під час оцінки електроміографічних параметрів у пацієнтів основної та контрольної груп, об'єктивно, у пацієнтів групи з увімкненням екзоскелета відношення «середня сила / середня амплітуда міографи» мало тенденцію до зростання в групах В, С і D основної групи на 23,1%, 47,1% і 39,5% відповідно (таблиця 4.9).

Таблиця 4.9

Динаміка електроміографічних параметрів ходьби у хворих основної та контрольної груп у процесі лікування

Ступінь порушення	Основна група	Контрольна група
	сила сер./середня амп. міограми, Н/мкВ	сила сер./середня амп. міограми, Н/мкВ
	До Після	До Після
В	$\frac{21,67 \pm 0,42}{28,17 \pm 0,60^{* \#}}$ +23,1%	$\frac{21,98 \pm 0,34}{23,17 \pm 0,30^*}$ +5,1%
С	$\frac{7,31 \pm 0,29}{13,81 \pm 0,48^{* \#}}$ +47,1%	$\frac{7,30 \pm 0,30}{8,26 \pm 0,24^*}$ +11,6%
Д	$\frac{5,86 \pm 0,27}{9,68 \pm 0,38^{* \#}}$ +39,5%	$\frac{6,01 \pm 0,30}{6,88 \pm 0,28}$ +12,6%

Примітка: надрядковими індексами відзначено достовірні зміни показника (* - порівняно з вихідним рівнем до лікування ($p < 0,05$); # - порівняно з динамікою показника в контрольній групі ($p < 0,05$)).

У пацієнтів групи Lokomat відношення «середня сила / середня амплітуда міограми» зросло на 5,1%, 11,6% і 12,6% відповідно. Під час порівняння результатів відзначено достовірно значущу позитивну динаміку в основній групі порівняно з групою контролю. Цю відмінність достовірно підтверджено критерієм перевищення рядів Фішера ($F_{\text{перевищ.}} = 4,18$; $p < 0,01$).

Таким чином, максимальна сила тяги в тесті після занять в екзоскелеті не змінювалася, а амплітуда сигналу знижувалася, що свідчило про поліпшення управління м'язами дорсальної поверхні спини та м'язами-розгиначами тазостегнового суглоба після закінчення реабілітаційного курсу. Це пов'язано з тим, що пацієнтам групи екзоскелета під час повного осьового навантаження доводиться контролювати баланс під час ходьби з більшими зусиллями, ніж під час занять на Lokomat, де положення тулуба міцно зафіксоване в тренажері та діє розвантаження ваги тіла.

За результатами спектрального аналізу реакції опори пацієнтів обох груп, виявлено значущу перевагу у пацієнтів основної групи. Середні значення спектрів F_x , F_y і F_z розраховували за 4-6 спробами. Після курсу занять у пацієнтів основної групи відбувалося зниження енергетичних характеристик спектра за всіма складовими реакції опори. Це означає, що спектральна потужність після курсу занять в екзоскелеті знизилася, про що свідчило зменшення спектральної густини за F_x , F_y і F_z . Зниження амплітуди поперечних коливань було зареєстровано у 54 пацієнтів із 56. Зменшення амплітуди поздовжніх коливань спостерігали у всіх пацієнтів. Ходьба пацієнтів стала стійкішою в поперечному напрямку: у пацієнтів у підгрупах В, С і D спектральна щільність за віссю F_x знизилася на 26,9%, 45,4% і 44,98% відповідно; у подовжньому напрямку за віссю F_y – спектральна щільність знизилася на 26,2%, 42,7% і 33,6% відповідно.

У гравітаційному полі основне навантаження на м'язи нижніх кінцівок виникає як наслідок сили тяжіння та інерції вертикальних коливань (таблиця 4.10). Зменшення потужності спектра за віссю Z свідчило про те, що ходьба стала менш енерго-витратною, що підтверджувалося показником «Середня потужність спектру» (СПС) - у групах В, С і D основної групи відзначено достовірне зниження показника на 29,1%, 53,6% і 66,8% відповідно.

Достовірно значущі зміни відмічено тільки у хворих основної групи, спектральна потужність у пацієнтів контрольної групи за осями F_x , F_y і F_z значимо не змінилася.

Таблиця 4.10

Динаміка електроміографічних параметрів ходьби у хворих основної та контрольної груп у процесі лікування

Ступінь порушення	Основна група			Контрольна група		
	СПС за F(x), Н ² /Гц До Після	СПС за F(y), Н ² /Гц До Після	СПС за F(z), Н ² /Гц До Після	СПС за F(x), Н ² /Гц До Після	СПС за F(y), Н ² /Гц До Після	СПС за F(z), Н ² /Гц До Після
В	<u>20,67±0,85</u> 15,12±0,59*# -26,9%	<u>40,23±1,13</u> 29,67±1,02*# -26,2%	<u>3504±85,0</u> 2483±59,2*# -29,1%	<u>20,97±0,88</u> 19,83±0,74 -5,4%	<u>40,48±0,90</u> 39,23±0,87 -3,1%	<u>3487±69,9</u> 3361±80,8 -3,6%
С	<u>13,00±0,41</u> 7,10±0,30*# -45,4%	<u>19,64±0,74</u> 11,26±0,49*# -42,7%	<u>3018±48,5</u> 1401±55,4*# -53,6%	<u>12,93±0,39</u> 11,53±0,37 -10,8%	<u>19,88±0,74</u> 17,05±0,69 -14,2%	<u>2962±72,5</u> 2574±63,9* -13,1%
D	<u>9,36±0,50</u> 5,15±0,33*# -44,98%	<u>11,03±0,65</u> 7,06±0,42*# -33,6%	<u>1502±44,9</u> 500±25,9*# -66,8%	<u>9,02±0,59</u> 8,71±0,51 -3,4%	<u>11,34±0,67</u> 10,35±0,30 -8,7%	<u>1495±36,7</u> 1405±28,7 -6%

Примітка: надрядковими індексами відзначено достовірні зміни показника (* - порівняно з вихідним рівнем до лікування (p<0,05); # - порівняно з динамікою показника в контрольній групі (p<0,05); СПС – Середня потужність спектра (Н²/Гц).

Методи спектрального аналізу мають перевагу перед оцінкою параметрів у часовій області. Це пов'язано з тим, що частотні характеристики сигналу не пов'язані з тривалістю процесу, розподілом зусилля між верхніми і нижніми кінцівками, тривалістю фаз тощо. Спектральні параметри залежать тільки від амплітуди і частоти коливання реакції опори.

Провівши аналіз наукової літератури, у жодній із робіт у пацієнтів спінального профілю перераховані вище методи (реєстрація електроміографії під час проведення модифікованого ТСС, біомеханічний – спектральний аналіз) не використовувалися, що свідчить про унікальність нашого дослідження.

Отримані дані електроміографічного та біомеханічного досліджень свідчать про поліпшення у пацієнтів основної групи контролю за м'язами спини та

м'язами-розгиначами ТСС, унаслідок чого відмічено клінічні поліпшення у руховій активності, самообслуговуванні та, як наслідок, у психоемоційній сфері.

4.4.5. Динаміка показників психоемоційного статусу у пацієнтів після курсу реабілітаційного лікування

Зафіксовано такі поліпшення психоемоційних показників. У пацієнтів основної групи депресія за шкалою Бека скоротилася в середньому на 41,6%, у пацієнтів контрольної групи – на 17,1%; тривожність за тестом Спілбергера-Ханіна – на 14% і 3,6% відповідно; відбулися позитивні зміни в оцінці Самопочуття-Активності-Молодуху – на 36,8% в основній і на 18,5% у контрольній групі. Більш виражену позитивну динаміку показників психоемоційної сфери виявляли в пацієнтів основної групи, у реабілітацію яких включено заняття в екзоскелеті (таблиця 4.11). Імовірно, це пов'язано з позитивною оцінкою пацієнтами зміни свого стану, можливістю «самостійно» ходити нерухливою поверхнею, отриманням позитивних емоцій під час ходьби та частковим поверненням пацієнта до звичного життя.

Таблиця 4.11

Динаміка психологічного статусу у хворих основної та контрольної груп у процесі лікування

Параметри	Основна група До Після	Контрольна група До Після
Депресія, бали	$\frac{23,68 \pm 0,52}{13,82 \pm 0,30^{*}\#}$ - 41,6%	$\frac{23,80 \pm 0,57}{19,73 \pm 0,29^{*}}$ - 17,1%
Тривожність, бали	$\frac{42,95 \pm 0,47}{36,95 \pm 0,47^{*}\#}$ -14%	$\frac{43,50 \pm 0,50}{41,95 \pm 0,39^{*}}$ -3,6%
Самопочуття-Активність-Настрій, бали	$\frac{24,84 \pm 3,57}{39,3 \pm 0,56^{*}\#}$ +36,8%	$\frac{25,16 \pm 0,45}{30,88 \pm 0,34^{*}}$ +18,5%
Достовірність відмінності для трьох параметрів, сумарно за критерієм відмінності Фішера	F=8,22; p<0,01	

Примітка: надрядковими індексами відзначено достовірні зміни показника (* - порівняно з вихідним рівнем до лікування ($p < 0,05$); # - порівняно з динамікою показника в контрольній групі ($p < 0,05$).

Таким чином, отримані дані дають змогу судити про наявність зв'язку між ступенем регресу рухового дефіциту, неврологічною симптоматикою та показниками психологічного статусу хворих на ТУСМ із неповним ушкодженням спинного мозку. А найбільшого ефекту досягнуто при включенні асистуючих роботизованих тренувань із використанням екзоскелета, ніж роботизованого комплексу Lokomat.

4.2. Аналіз віддалених результатів

Віддалені результати відновного лікування пацієнтів основної та контрольної груп були вивчені під час катамнестичного спостереження. Ми оглядали хворих через шість і дванадцять місяців після госпіталізації. Через 6 місяців ми змогли оцінити динаміку у 82 пацієнтів зі 112, через рік – у 67 пацієнтів.

Було вивчено динаміку здатності до пересування пацієнтів основної та групи порівняння згідно зі змінами індексу ходьби Гаузера, показника самообслуговування та мобільності хворих основної та контрольної груп за шкалою VFM, психологічного статусу за шкалою САН за 6 і 12 місяців. У таблицях 4.12, 4.13 та 4.14 подано дані обстежень.

Через 12 місяців на повторному огляді 7 пацієнтів основної групи з неповною перервою спинного мозку після реабілітаційного курсу змогли самостійно ходити з одnobічною опорою без використання таторів для нижніх кінцівок (відстань у 8 метрів долали за 25 секунд і більше), що відповідало 4 градації Індексу, тобто збільшилася на 5,8% порівняно з вихідним рівнем після виписки.

Через 6 і 12 місяців змінилася кількість пацієнтів основної групи, які відповідали градації 6 (була потрібна двостороння підтримка і понад 20 секунд для подолання відстані у 8 метрів) – знизилася на 13%; для градації 5 (під час ходіння необхідна підтримка з двох боків (палиці, милиці), проходили 8 метрів за 25 секунд і швидше; або необхідна підтримка з одного боку, але для проходження 8 метрів було потрібно понад 25 секунд) – через 6 місяців збільшилася на 3,6%, а через 12 місяців – ще на 2,65%.

У контрольній групі кількість пацієнтів, які відповідають градації 7 і 4, практично не змінилася, градації 6 через рік після госпіталізації – збільшилася на 5,3%, а градації 5, навпаки, зменшилася на 5,7%. Цей факт свідчить про деякий регрес мобільності у пацієнтів контрольної групи, ймовірно, внаслідок зниження самостійної рухової активності в домашніх умовах.

Таблиця 4.12

Динаміка індексу ходьби Хаузера через 6 і 12 місяців після проведеного курсу реабілітації

Групи	7	6	5	4
Основна група	3 (5,3 %)	16 (28,6 %)	28 (50 %)	9 (16,1 %)
Через 6 місяців (N=43)	2 (5,3 %)	10 (23,2%)	23 (53,6%)	8 (18,6 %)
Через 12 місяців, (N=32)	2 (6,25 %)	5 (15,6%)	18 (56,25%)	7 (21,9%)
Контрольна група	9 (16 %)	37 (66,1 %)	8 (14,3 %)	2 (3,6 %)
Через 6 місяців (N=39)	6 (15,4%)	27 (69,2%)	5 (12,8%)	1 (2,6%)
Через 12 місяців, (N=35)	6 (17,1%)	25 (71,4%)	3 (8,6%)	1 (2,9%)
Коефіцієнт Пірсона	$\chi^2_{6 \text{ мес.}} = 26,7; p < 0,001$ $\chi^2_{12 \text{ мес.}} = 30,5; p < 0,001$			

Примітка: достовірні значення критерію позначають відмінність між основною і контрольними групами за характером розподілу пацієнтів за підгрупами 7-4.

Динаміка показника самообслуговування і мобільності також має переваги в пацієнтів основної групи: через 6 місяців відзначено позитивну динаміку в підгрупі С у середньому на 3 бали, В – на 2 бали, D – на 3 бали; через 12 місяців порівняно з попереднім значенням показник зріс у підгрупі В – на 2 бали, С – на 5 балів, D – на 2 бали. У контрольній групі показник VFM через 6 і 12 місяців мав

тенденцію до зниження. Через 1 рік після госпіталізації в підгрупі В знизився в середньому на 5 балів, підгрупі С – на 2 бали, у підгрупі D – на 1 бал, переважно за рахунок зниження мобільності (таблиця 4.13).

Ми застосували опитувальник САН для оцінки психологічного статусу в пацієнтів через 6 і 12 місяців після проведеного курсу реабілітації. У результаті отримали поліпшення показника Самопочуття-Активність-Настрій у пацієнтів основної групи через 6 місяців у середньому на 3,6 бала, через 12 місяців – на 0,4 бала. У групі контролю відзначили погіршення в психологічному статусі через рік у середньому на 1,8 бала (таблиця 4.14).

Таблиця 4.13

Динаміка показника самообслуговування і мобільності хворих основної та контрольної груп за шкалою VFM через 6 і 12 місяців після лікування

Ступінь порушення	Основна група Після курсу реабілітації <u>Через 6 місяців</u> (N=43) Через 12 місяців (N=32)	Контрольна група Після курсу реабілітації <u>Через 6 місяців</u> (N=39) Через 12 місяців (N=35)
B	207±1,0 <u>210±1,1*</u> 212±1,4*	186±0,8 <u>185±0,9</u> 181±0,7*#
C	223±1,3 <u>225±1,2</u> 230±1,0*	203±0,6 <u>202±0,9</u> <u>201±1,0</u>
D	236±1,7 <u>239±1,0</u> 241±1,1*#	213±0,7 <u>213±0,8</u> 212±0,9

Примітка: надрядкові індекси позначають достовірність відмінності (* - порівняно з результатами відразу після реабілітації; # - через 6 місяців після реабілітації)

Таблиця 4.14

Динаміка показника САН у хворих основної та контрольної груп у віддаленому періоді

Параметри	Основна група Після курсу реабілітації <u>Через 6 місяців</u> (N=43) Через 12 місяців (N=32)	Контрольна група Після курсу реабілітації <u>Через 6 місяців</u> (N=39) Через 12 місяців (N=35)
-----------	---	--

САН, бали	39,3±0,56	30,9±0,34
	<u>42,9±0,78*</u>	<u>29,4±0,23*</u>
	43,3±0,21*	29,1±0,87

Примітка: нарядкові індекси позначають достовірність відмінності (* - порівняно з результатами відразу після реабілітації)

Більшість пацієнтів основної групи, на відміну від групи порівняння, після проведеного курсу реабілітації під час самостійної вертикалізації та ходьби в домашніх умовах почувалися набагато впевненіше, що призвело до збільшення часу і кратності вертикального пересування і, як наслідок, підвищення мобільності, ступеня самообслуговування і поліпшення психологічного статусу.

4.3. Предиктори ефективності застосування роботизованих комплексів під час реабілітації пацієнтів із травмою спинного мозку

Відомо, що проблема персоніфікованого підходу до вибору оптимальної тактики лікування органічно пов'язана з аналізом предикторів ефективності, що апріорно має на увазі наявність деякої залежності результатів лікування від вихідного стану пацієнтів. Частково ця теза підтверджується результатами наших досліджень у плані вивчення характеру варіювання різних показників у процесі застосування нового методу лікування. Раніше нами було встановлено, що клінічна ефективність локомоторного тренування з використанням екзоскелета істотно покращує результати лікування хворих після травми спинного мозку, однак, на наш погляд, слід звернути увагу на одну особливість: за низкою параметрів в основній групі після лікування істотно зріс коефіцієнт варіації. Так, для електроміографічних параметрів ходьби, показників самообслуговування та мобільності, параметрів м'язового тону, рівня депресії та тривожності у хворих основної групи відповідне збільшення коефіцієнта варіації після лікування становило 42,3±2,94%; 27,9±2,52%; 34,5±2,80%; 16,1±0,77% і 12,4±0,69%. Така зміна варіювання показників однозначно свідчить про те, що в основній групі

пацієнтів (які отримували локомоторні тренування з використанням екзоскелета) зустрічалися пацієнти з різним ступенем вираженості терапевтичного ефекту. Нині математичний дизайн дослідження предикторів ефективності передбачає застосування різних статистичних алгоритмів, але ми вирішили зупинитися на такому варіанті.

На першому етапі було вирішено розділити пацієнтів основної групи на дві підгрупи за ефективністю лікування і порівняти динаміку різних параметрів, що характеризують функціональний стан хворих (таблиця 4.15).

Таблиця 4.15

**Динаміка параметрів хворих із наслідками спинномозкової травми
залежно від ефективності застосування локомоторних тренувань із
використанням екзоскелета**

Показники	Висока ефективність лікування (n=34)	Низька ефективність лікування (n=18)	p
М'язовий тонус	+0,92±0,11	+0,44±0,07	<0,01
Показник самообслуговування та мобільності за шкалою VFM	+42,2±3,64	+29,5±2,97	<0,05
Середня потужність спектра за F_x , %	-54,3±2,85	-37,0±3,11	<0,01
Середня потужність спектра за F_y , %	-50,2±3,02	-34,9±2,86	<0,05
Середня потужність спектра за F_z , %	-64,7±3,17	-43,5±3,87	<0,01
Рівень депресії	-52,9±2,54	-22,6±1,72	<0,01
Рівень тривожності	-19,3±0,84	-15,2±0,51	<0,05

Було виявлено, що практично за всіма показниками виявляли більш виражену динаміку в пацієнтів, у яких було зафіксовано найкращі результати лікування щодо регресу рухового дефіциту за шкалою ASIA. Ці факти переконливо свідчать про високу інформативність тих параметрів, які ми обрали під час планування цієї роботи.

На наступному етапі ми провели кореляційний аналіз за алгоритмами Спірмена (коефіцієнт рангової кореляції Спірмена малочутливий до характеру розподілу досліджуваних показників). У цьому випадку проаналізували

залежність результатів лікування від вихідного стану пацієнтів (таблиця 4.16). Цікаво зазначити, що далеко не всі показники у вихідному стані корелювали з основним параметром, що характеризує ефективність проведеної терапії, - регресом рухового дефіциту. Найбільшою мірою кандидатами в предиктори виявилися біомеханічні параметри ходьби, м'язовий тонус і рівень депресії.

Таблиця 4.16

Коефіцієнти рангової кореляції Спірмена між показниками, що характеризують динаміку стану пацієнтів основної групи під час локомоторних тренувань із застосуванням екзоскелета, і динамікою рухового дефіциту

Показники	Динаміка рухового дефіциту за шкалою ASIA
М'язовий тонус	+0,25*
Показник самообслуговування та мобільності за шкалою VFM	+0,18
Середня потужність спектра за F_x , %	-0,26*
Середня потужність спектра за F_y , %	-0,39**
Середня потужність спектра за F_z , %	-0,34**
Рівень депресії	-0,23*
Рівень тривожності	-0,12

Примітка: надрядкові індекси показують достовірність значень коефіцієнта рангової кореляції Спірмена (* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$)

Тому на третьому етапі до підсумкової регресійної моделі ми включили саме ці параметри, попередньо здійснивши процедуру нормування і центрування показників, що об'єктивізує істинний «внесок» впливу кожного з них на кінцевий терапевтичний результат.

Встановлено, що на роль предикторів ефективності лікування цього захворювання більшою мірою претендують три параметри: середня потужність спектра за F_y і F_z , а також м'язовий тонус. При цьому найбільша ефективність пропонованого нами методу лікування хворих із наслідками травми спинного мозку шляхом застосування локомоторних тренувань в екзоскелеті відмічалася в

пацієнтів, у яких у вихідному стані були мінімальні порушення електроміографічних параметрів ходьби і найбільшою мірою зберігся м'язовий тонус (таблиця 4.17).

Таблиця 4.17

**Регресійна модель предикторів ефективності застосування
локомоторних тренувань із застосуванням екзоскелета у хворих із
наслідками травми спинного мозку**

Кандидати в предиктори ефективності лікування	Коефіцієнти рівняння множинної лінійної регресії
М'язовий тонус	+0,28
Середня потужність спектра за F(y)	-0,41
Середня потужність спектра за по F(z)	+0,31

Загалом, результати проведеного дослідження дають змогу зробити такий висновок: проблему аналізу предикторів ефективності можна успішно розв'язати, застосувавши спеціальний алгоритм статистичних обчислень, коли інформація послідовно накопичується шляхом дослідження варіабельності результуючих ознак (показників, що найбільшою мірою інтегрують клінічний ефект), проведенням непараметричного кореляційного аналізу з розрахунком коефіцієнтів множинної кореляції, які дають змогу виокремити кластер (плеяду) взаємопов'язаних параметрів, а на завершальному етапі – побудову рівняння множинної кореляції. При дотриманні цих досить простих правил багато питань визначення показань і протипоказань до застосування тієї чи іншої лікувально-профілактичної методики вирішується відповідно до принципів доказової медицини, що дає змогу з високим ступенем імовірності визначити найоптимальнішу сферу ефективного впливу.

4.4. Практичні рекомендації щодо застосування досліджуваної програми

1. Інтенсивність тренувань: щодня, 5-7 днів на тиждень. Тривалість тренування: 1-1,5 години. Навантаження у вигляді одномоментно пройденої дистанції підвищується щодня до появи ознак стомлення і реакції серцево-судинної системи, що лімітують продовження навантаження.

Середня ефективна тривалість ходьби під час тренування – 30 хв., залежно від самопочуття пацієнта і оволодіння ним навичкою впевненої самостійної ходьби в екзоскелеті. Перше тренування включає налаштування екзоскелета під пацієнта, його пере-налаштування, примірку й оволодіння першими навичками стійкого знаходження у вертикальному положенні з використанням брусів. Рекомендується в середині тренування виконувати посадку на стілець і відпочивати 3-10 хв. За потреби частіше (особливо на перших 3-5 тренуваннях).

2. На рівні впевненої ходьби в екзоскелеті з опорою на милиці пацієнт повинен відпрацювати такі навички:

- самостійно вставати з місця та сідати на стілець з опорою на милиці;
- пересідати з крісла-каталки в екзоскелет і навпаки; ходити, робити повороти;
- керувати ходьбою у скелеті за допомогою «розумної» милиці;
- навчатися діям у критичних ситуаціях (під час падіння однієї милиці, втрати рівноваги, зупинки екзоскелета тощо).

3. Рекомендується проводити ФЕС насамперед м'язів-розгиначів нижніх кінцівок і тулуба, що забезпечують стійкість тіла хворого під час ходьби й локомоторну функцію в опорну фазу кроку; потім м'язів-згиначів, які виконують корекційну функцію (насамперед у фазі перенесення). Як основні коригувальні рухи рекомендується вибирати розгинання в колінних і тазостегнових суглобах і випрямлення хребта, а об'єктами ФЕС – великий і середній сідничні м'язи, чотириголовий м'яз стегна та крижово-спинний м'яз.

4 Амплітудну програму ФЕС рекомендується встановлювати за допомогою трьох параметрів: амплітуди напруги або струму, тривалості та частоти проходження імпульсів. Амплітудна програма ЕС має відповідати принципу

достатності, під яким розуміється можливість отримання необхідної корекції за мінімально допустимої сили скорочення. У результаті всієї сукупності отриманих даних хворим з ушкодженням спинного мозку на різних рівнях рекомендується застосовувати ФЕС таких параметрів прямокутних імпульсів: амплітуда напруги до 60 В або сила струму до 255 мА; тривалість від 50 до 250 мс.; частота проходження від 40 до 100 Гц.

5. Під час проведення ФЕС під час ходьби рекомендується виконати основні вимоги:

– тренування має відбуватися на виправленому периферичному тлі, що передбачає усунення контрактур у суглобах і зниження спастичності м'язів;

– тренування елементарних рухів на кшталт згинання-розгинання в суглобах, що передує руховому акту, слід здійснювати спочатку в ізометричному, а потім в ізотонічному режимі;

– до тренування слід залучати всі м'язи, що беруть участь у вправі, з метою отримання симетричного ефекту їх посилення;

– слід використовувати найменшу частоту подразнення, ще здатну викликати тетанічну відповідь м'язів.

6. Регулярність проведення реабілітаційних курсів для пацієнтів із ТУСМ має зводитися до 1 разу на 3-4 місяці. Тривалість курсу має становити не менше 15 сеансів. Збільшення кількості сеансів пов'язане з необхідністю стимуляції великої кількості м'язів, а також із тим, що відновлення ослаблених м'язів відбувається вкрай повільно і супроводжується вираженим стомленням хворого.

Висновок до розділу 4

У результаті дослідження під час роботизованої ходьби в екзоскелеті в абсолютної більшості (95%) пацієнтів із наслідками травми спинного мозку показники центральної гемодинаміки залишалися в межах допустимих значень.

Під час оцінки неврологічного статусу в обох групах відзначено позитивну динаміку у вигляді зміцнення паретичних кінцівок у проксимальному і дистальному відділах, зниження м'язового тону в них, поліпшення провідності за шкалою ASIA. Однак під час порівняння перерахованих вище показників основної та контрольної груп достовірно значущих відмінностей між ними виявлено не було. Отримані дані не суперечать раніше проведеним дослідженням.

Позитивні результати було отримано під час дослідження мобільності та самообслуговування за даними індексу Гаузера і функціональної шкали VFM. Досягнутий регрес клінічної симптоматики дав змогу пацієнтам основної групи розширити самообслуговування і мобільність. В основній групі відмічено достовірно значуще ($p < 0,05$) збільшення бальної оцінки за шкалою в пацієнтів підгрупи В, С і D на 12,8%, 14,2% і 12,5% відповідно, переважно за рахунок поліпшення переміщення по кімнаті, особистої гігієни, виконання звичної щоденної активності. Зміни мобільності та потреби пацієнтів у допоміжних засобах пересування за Індексом ходьби Хаузера також виявили перевагу ходьби в екзоскелеті. Кількість пацієнтів, які відповідають градації 7, знизилася на 8 осіб, градації 6 – зменшилася на 23 особи, 5 градації збільшилася на 22 особи. 9 пацієнтів основної групи з неповним переривом спинного мозку після реабілітаційного курсу могли самостійно ходити з односторонньою опорою без використання таторів для нижніх кінцівок (відстань у 8 метрів долали за 25 секунд і більше), що відповідало 4 градації Індексу.

При оцінці електроміографічних параметрів у пацієнтів основної та контрольної груп, об'єктивно, у пацієнтів групи з включенням екзоскелета відношення «середня сила / середня амплітуда міографі» мало тенденцію до зростання в групах В, С і D основної групи на 23,1%, 47,1% і 39,5% відповідно. Максимальна сила тяги в тесті після занять в екзоскелеті не змінювалася, а амплітуда сигналу знижувалася, що свідчило про поліпшення управління м'язами дорсальної поверхні спини і м'язами-розгиначами тазостегнового суглоба після закінчення реабілітаційного курсу.

За результатами спектрального аналізу реакції опори пацієнтів обох груп, виявлено значущу перевагу у пацієнтів основної групи. Зниження амплітуди поперечних коливань було зареєстровано у 54 пацієнтів основної групи з 56. Зменшення амплітуди поздовжніх коливань спостерігали у всіх пацієнтів. Ходьба пацієнтів стала стійкішою в поперечному напрямку: у пацієнтів у підгрупах В, С і D спектральна щільність за віссю Fx знизилася на 26,9%, 45,4% і 44,98% відповідно; і в поздовжньому напрямку – спектральна щільність знизилася на 26,2%, 42,7% і 33,6% відповідно. Зменшення потужності спектра за віссю Z свідчило про те, що ходьба стала менш енерго-витратною, що підтверджувалося показником СПС – у групах В, С і D основної групи відзначено достовірне зниження показника на 29,1%, 53,6% і 66,8% відповідно.

Отримані дані електроміографічного та біомеханічного досліджень свідчили про поліпшення у пацієнтів основної групи контролю за м'язами спини та м'язами-розгиначами кульшового суглоба. Імовірно, це пов'язано з тим, що пацієнтам групи екзоскелета під час повного осьового навантаження доводиться контролювати баланс під час ходьби з більшими зусиллями, ніж під час занять на роботизованому комплексі Lokomat, де положення тулуба міцно зафіксоване в тренажері та діє розвантаження ваги тіла. У результаті відзначено клінічні поліпшення в руховій активності, самообслуговуванні, і, внаслідок цього, у психоемоційній сфері.

Як відомо, для пацієнтів із травмою спинного мозку характерні високі рівні тривоги та депресії, низька мотивація до лікування. У нашому дослідженні більш виражені позитивні результати показників психологічного статусу мали пацієнти групи, в реабілітацію яких включено заняття в екзоскелеті. Імовірно, це пов'язано з позитивною оцінкою пацієнтами зміни свого стану, можливістю «самостійно» ходити нерухливою поверхнею, отриманням позитивних емоцій під час ходьби та частковим поверненням пацієнта до звичного життя. Отримані результати дають змогу судити про наявність зв'язку між ступенем зниження рухового дефіциту,

поліпшенням неврологічного статусу та показниками психологічного статусу в хворих із ТУСМ із неповним ушкодженням спинного мозку.

Провівши оцінку віддалених результатів лікування, ми отримали більше позитивних результатів, ніж у групі порівняння. Через 12 місяців на повторному огляді кількість пацієнтів основної групи, які змогли самостійно ходити з односторонньою опорою без використання тунелів для нижніх кінцівок (4 градація Індексу Гаузера), збільшилась на 5,8% порівняно з вихідним рівнем після виписки. Динаміка показника самообслуговування й мобільності також має переваги у пацієнтів основної групи: через 6 місяців відмічено позитивну динаміку в підгрупі С в середньому на 3 бали, В – на 2 бали, D – на 3 бали; через 12 місяців порівняно з попереднім значенням показник зріс у підгрупі В – на 2 бали, С – на 5 балів, D – на 2 бали. У контрольній групі показник VFM через 6 і 12 місяців мав тенденцію до зниження. Виявили поліпшення показника САН у пацієнтів основної групи через 6 місяців у середньому на 3,6 бала, через 12 місяців – на 0,4 бала. Більшість пацієнтів основної групи, на відміну від групи порівняння, після проведеного курсу реабілітації під час самостійної вертикалізації та ходьби в домашніх умовах почувалися набагато впевненіше, що призвело до збільшення часу й кратності вертикального пересування та, як наслідок, підвищення мобільності, ступеня самообслуговування та поліпшення психологічного статусу.

Таким чином, аналіз найближчих і віддалених результатів лікування пацієнтів основної групи і групи контролю підтвердив ефективність розробленої методики реабілітації з включенням екзоскелета хворих із хребетно-спинномозковою травмою.

ВИСНОВОК

Включення розробленої методики автоматизованої ходьби в екзоскелеті, синхронізованої з функціональною електростимуляцією, у програму реабілітаційних заходів для пацієнтів у пізньому періоді хребетно-спинномозкової травми сприяє зниженню ступеня парезу (у підгрупах С і D у проксимальних відділах на 5,1% і на 7,1%; у дистальних відділах на 25,2% і на 13,4% відповідно). Відзначається достовірно значуще зниження м'язового тону наприкінці реабілітаційного курсу (у пацієнтів підгруп В, С і D на 21,5%, на 34,8% і на 32,7% відповідно).

Методика синхронізованого застосування екзоскелета і функціональної електростимуляції під час відновлення мобільності хворих ефективніша порівняно з групою контролю згідно з Індексом Гаузера (у градаціях 4 і 5 у середньому у 5 і 3 рази відповідно). Досягнутий регрес клінічної симптоматики дає змогу пацієнтам основної групи розширити самообслуговування і мобільність, що підтверджує позитивна динаміка показників шкали VFM: під час порівняння з групою контролю відмічено достовірно значущу ($p < 0,05$) перевагу бальної оцінки в пацієнтів підгрупи В, С і D на 9,4%, 9,0% і 8,5% відповідно.

Відзначено достовірно значущу динаміку електроміографічних параметрів ходьби внаслідок курсового синхронізованого застосування екзоскелета і функціональної електростимуляції порівняно з контрольною групою в підгрупах В, С і D на 18%, 35,5% і 26,9%. Це свідчить про поліпшення управління м'язами спини і м'язами-розгиначами тазостегнового суглоба. Ходьба пацієнтів основної групи стала стійкішою - у підгрупах В, С і D величина спектра поперечної складової реакції опори (за віссю F_x) знизилася на 21,5%, 34,6% і 41,6% відповідно; поздовжньої складової (за віссю F_y) - на 23,1%, 28,5% і 24,9% відповідно; стала менш енерговитратною (за віссю F_z) на 25,5%, 40,5% і 60,8% відповідно порівняно з групою контролю.

Тренувальні заняття з використанням екзоскелета і функціональної електростимуляції сприяють достовірному зменшенню депресії на 24,5%, тривожності на 10,4%, самопочуття-активності-настрою на 18,3% порівняно з пацієнтами контрольної групи.

Розроблено методику включення екзоскелета в комплексні програми лікування та реабілітації хворих із травматичною хворобою спинного мозку на 2 етапі реабілітації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грабченко А. І., Клепиков В. Б., Доброскок В. Л. Вступ до мехатроніку. Харків : НТУ «ХПІ», 2014. 264 с.
2. Konrad Reif. Automotive mechatronics. Automotive networking, driving stability systems, electronics. Wiesbaden : Springer Fachmedien, 2015. 549 p.
3. Levent Güvenc, Bilin Aksun Güvenc, Burak Demirel. Control of mechatronic systems. London : The Institution of Engineering and Technology, 2017. 217 p.
4. Сторожев В. В. Системотехніка та мехатроніка технологічних машин і обладнання. К.: Наука, 2016. 412 с.
5. Юревич Є. І. Основи робототехніки. Х.: Логос, 2017. 284 с.
6. Patrick Kaltjob. Mechatronic Systems and Process Automation. Boca Raton : CRC Press, 2018. 468 p.
7. Andrew J. Kurdila. Dynamics and control of robotic systems. Hoboken : John Wiley & Sons Ltd, 2020. 517 p.
8. Mohammad H. Abedin-Nasab. Handbook of robotic and image- guided surgery. Cambridge : Elsevier, 2020. 724 p.
9. Ambarish Goswami. Humanoid robotics: a reference. Dordrecht : Springer Nature B.V., 2019. 2676 p.
10. Clifford A. Pickover. Artificial intelligence. An illustrated history. New York : Sterling Publishing Co., Inc., 2019. 268 p.
11. Горбенко Т. І., Горбенко М. В. Основи мехатроніки та робототехніки. робототехніки. К.: Наукова думка, 2014. 126 с.
12. Іванова Г. Є., Дутікова О. М. Клінічна епідеміологія, медикосоціальна значущість проблеми // Реабілітація хворих із травматичною хворобою спинного мозку / За загальн. ред. Г.Є. Іванової, В.В. Крилова, М.Б. Цикунова, Б.А. Поляєва. - Х.: Логос, 2020. С. 5-8.

13. Сімонова М. А. Епідеміологія хребетно-спинномозкової травми та організація медичної допомоги постраждалим: Автореф. дисс. канд. мед. наук. К., 2023. 24 с.
14. Гринь А. А., Горохова О. М. Множинні та багаторівневі ушкодження хребта (частина 2). // Нейрохірургія. – 2018. – № 4. – С. 52-59.
15. Дулаєв А. К., Шаповалов В. М. Закриті ушкодження хребта грудної та поперекової локалізації. К.: Наукова думка, 2022. – 144 с.
16. Лебедєв В. В., Крилов В. В. Невідкладна нейрохірургія: керівництво для лікарів // К.: Медицина, 2020. 568 с.
17. Акшулаков С. К. Епідеміологія травм хребта і спинного мозку / С. К. Акшулаков, Т. Т. Керимбаєв // 27 з'їзд нейрохірургів України: - К., 2022. С. 182.
18. Іванова Г. Є., Крилов В. В., Цикунов М. Б., Поляев Б. А.. Реабілітація хворих із травматичною хворобою спинного мозку // К.: Наука, 2020. – 640 с.
19. Бабиченко О. І. Травматична хвороба спинного мозку // Нейротравматологія / Під ред. О.М. Коновалова, Л.Б. Ліхтермана, А.А. Потапова. К.: Неврологія, 2014. С. 292-294.
20. Stover S. L. Disodium etidronate in prevention of heterotopic ossification following spinal cord injury / S. L.Stover, H. R.Hahn, J. M.Miller // Paraplegia. – 2016.Vol.14. – P.146.
21. Перльмуттер О. А. Травма хребта і спинного мозку: посіб. для лікарів / О. А. Перльмуттер. – Х.: ЛОГОС, 2020. – 141 с.
22. Merli G, Herbison G., Ditunno J. et al. Deep Vein Thrombosis in Acute Spinal Cord Injured Patients//Arch. Phys. Med. Rehab. 2018. N69. P. 661-664.
23. Солений В. І. Ортопедичні наслідки хребетно-спинномозкової травми // Нейротравматологія / Під ред. О. М. Коновалова, Л. Б. Ліхтермана, О. А. Потапова. Х.: Вазар-Ферро, 2014. С. 267-268.
24. Коновалова Н. Г. Відновлення вертикальної пози інвалідів із нижньою параплегією / Н. Г. Коновалова. – К.: Наука, 2016. – 199 с.

25. 51. Merritt J. Management of Spasticity in Spinal Cord Injury // Mayo Clin. Proc. 2021. N56. P. 614-622.

26. Кочетков А. В., Бородін М. М., Костів І. М., Пряников І. В., Кочунєва О. Я., Горбешко Г. А. Роботизована локомоторна терапія хворих на травматичну хворобу спинного мозку // Курортні відомості №3 (48) 2018 - С. 110-111.

27. Леонтьєв М. А. Хірургічна корекція патології стопи в комплексі рухової реабілітації в пацієнтів із нижньою параплегією: Автореферат дис. канд. мед. наук. Київ, 2013. 25 с.

28. Качесов В. А. Основи інтенсивної реабілітації. Травма хребта і спинного мозку / В. А. Качесов. – К.: Наука, 2022. – Кн. 1. – 126 с.

29. Кадиков А. С., Чернікова Л. А., Шапаронова Н. В. Реабілітація неврологічних хворих. К.: МЕД-інформ, 2018. – 560с.

30. Bedbrook G. Spinal Injuries with Tetraplegia and Paraplegia // J. Bone Joint Surg.Br. 2019. 1461. P. 267-284.

31. Carter A.R., Connor L.T., Dromerick A.W.. Rehabilitation after stroke: current state of the science. Curr Neurol Neurosci Rep 2020; 10: 158–66.

32. Adibhatla R.M., Hatcher J.F. Role of lipids in brain injury and diseases. Future Lipidol 2007; 2: 403–22.

33. Луцик А. А. Пошкодження шийного відділу спинного мозку // Нейротравматологія / Під ред. О. М. Коновалова, Л. Б. Ліхтермана, А. А. Потапова. К.: Наукова думка, 2014. С. 300-301.

34. Кучеренко С. С. Оцінка ефективності ранньої нейрореабілітації у хворих на ішемічний інсульт / С. С. Кучеренко // Вісник НХХЦ ім. М.І.Пирогова. – 2017. – Т. 2, № 1. – С. 80-81.

35. Іванова Г. Є., Шкловський В. М., Петрова О. А. та ін. Принципи організації ранньої реабілітації хворих з інсультом. // Якість життя. Медицина. – 2016. – N2. – с. 62-70.

36. Дамінов В. Д. Автореферат докторської дисертації "Удосконалення системи технологій роботизованої механотерапії в реабілітації хворих з ураженням центральної нервової системи"; Київ; 2013. – 259с.

37. Карепов Г. В., Каропова І. Д. Методичні питання міоелектростимуляції під час лікування наслідків спінальної травми // Курортологія і фізіотерапія. К.: Здоров'я, 2015. Вип. 18. С. 41-45.

38. Barbeau H. Locomotor training in neurorehabilitation: emerging rehabilitation concepts. *Neurorehabil Neural Repair*. 2022; 17: 3-11.

39. Binkiewicz-Glinska A., Sobierajska-Rek A., Bakula S., Wierzba J., Drewek K., Kowalski I. M., Zaborowska-Sapeta K. Arthrogyposis in infancy, multidisciplinary approach: casereport // *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2021, Mar 19;110(12).

40. Юнусов Ф. А., Гайгер Г. Організація медико-соціальної реабілітації за кордоном. К.: Соціальний розвиток України, 2018. 296 с.

41. Млявих С. Г. Ортопедо-хірургічна реабілітація та відновлювальне лікування хворих із хребетно-спинномозковою травмою в проміжному та пізньому періодах / С. Г. Млявих, І. М. Морозов // Тез. докл. конференції патології хребта. – К., 2017. – С. 321-323.

42. Chen B., et al./ Recent developments and challenges of lower extremity exoskeletons // *J Orthop Translat*. – 2015 – Oct 17;P. 26-37.

43. Colombo G., Wirz M., Dietz V. Driven gait orthosis for improvement of locomotor training in paraplegic patients // *Spinal Cord*. 2021. Vol. 39, No 12. P. 252-255.

44. Шпаченко М. М. Особливості медичної допомоги та прогноз наслідків при хребетно-спинномозковій травмі на догоспітальному етапі / М. М. Шпаченко, В. Г. Климовицький, С. О. Стегній // Матеріали наукової конференції "Хірургія хребта – повний спектр". – К., 2017. – С. 336-339.

45. Морозов І. М. Сучасні методи індекс терапії рухових порушень у пацієнтів із хребетно-спинномозковою травмою / І. М. Морозов // Травматологія

та ортопедія. Нові технології в травматології та ортопедії. – 2017. – Додаток 3(45). – С. 15.

46. Christian Fisahn, Mirko Aach, Oliver Jansen, Marc Moisi, Angeli Mayadev, Krystle T. Pagarigan, Joseph R. Dettori, Thomas A. Schildhauer; The Effectiveness and Safety of Exoskeletons as Assistive and Rehabilitation Devices in the Treatment of Neurologic Gait Disorders in Patients with Spinal Cord Injury: A Systematic Review; *Global Spine J.*; 2016 Dec; 6(8):822-841.

47. Dietz V, Müller R, Colombo G. Locomotor activity in spinal man: significance of afferent input from joint and load receptors// *Brain*. 2022 Dec;125(Pt 12):2626-34.

48. Макарова М. Р., Лядов К. В., Кочетков А. В. Тренажерні апарати та пристрої в руховій реабілітації неврологічних хворих // *Доктор*. №10 (78) - 2022. С. 54-62.

49. Dromerick A. Activity-Based Therapies / A. Dromerick, P. Lum, J. Hidler // *NeuroRX*. 2016. – Vol.3, №4. P. 428-438.

50. Dimyan M. A., Cohen L. G. Neuroplasticity in the context of motor rehabilitation after stroke // *Nat. Rev. Neurol.* – 2021. – № 1. – P. 46–51.

51. Bertine Fleerkotte, Msc. The effect of impedance-controlled robotic gait training in chronic motor incomplete SCI individuals, INRS 2021.

52. Lam T. et al. Using Robot-Applied Resistance to Augment BodyWeight-SupportedTreadmillTraining in an Individual With Incomplete Spinal Cord Injury // *Phys Ther*. 2021. Vol. 91, No 1. P. 143-151.

53. Дашко І. А. Автореферат кандидатської дисертації "Диференційований підхід до комплексної терапії та реабілітації хворих залежно від ступеня і рівня травматичного пошкодження спинного мозку"; Київ; 2020 р.; 46 с.

54. Stinear J.M. Disinhibition in the human motor cortex is enhanced by synchronous upper limb movements / J.M. Stinear, W.D. Bydlow // *J.Physiol*.2022.- Vol. 543, Pt.1. – P. 307-316.

55. Nakajima T. et al. Robotic-assisted stepping modulates monosynaptic reflexes in forearm muscles in the human // *J Neurophysiol.* 2021. Vol. 7, No 18. Published online before print July 2021, doi: 10. 1152.

56. Lewis G. N. Modulations in corticomotor excitability during passive upperlimb movement: Is there a cortical influence? / G. N.Lewis, W. D. Bydlow // *Brain. Res.* 2022, Vol. 943, №2. – P. 263-275.

57. Салєєва А. Д., Чернишова І. М., Нартова І. П., Трегуб Н. Ю., Задерей Н. П. Інноваційні підходи при складанні реабілітаційних програм для пацієнтів з наслідками хребтово-спинномозкової травми // *Podillya Rehabilitation Medicine Symposium, Vinnytsia, Ukraine* , Oct. 18-19, 2018 – С. 38-42.

58. Воронов А. В., Доценко В. І., Титаренко Н. Ю. Тривимірний (об'ємний) комп'ютерний відеоаналіз рухів в оцінці прогнозу та ефективності нейрореабілітації пацієнтів із резидуальним нейромоторним дефіцитом / *Медичний вісник.* – 2020. – т. 4. – с. 10-15.

59. Сусліна З. А., Варакін Ю. А., Верещагін Н. В. Судинні захворювання головного мозку: Епідеміологія. Основи профілактики, К.: Медпрес, 2016. – 256 с.

60. Зіміна О. В. Медична реабілітація хворих із застосуванням роботизованої реконструкції ходьби в перші місяці після травми спинного мозку // *Дис. на здобуття вч. ступені канд. біолог. наук.* - К.:, 2018. - 125 с.

61. Kapadia N et al. A randomized trial of functional electrical stimulation for walking in incomplete spinal cord injury: Effects on walking competency // *J Spinal Cord Med.* 2021 Sep; 37(5): 511-24.

62. Husemann B. et al. Effects of Locomotion Training With Assistance of a Robot-Driven Gait Orthosis in Hemiparetic Patients After Stroke: A Randomized Controlled Pilot Study // *Stroke.* 2020. Vol. 38, No 2. P. 349-354.

63. Морозов І. М. Хребетно-спинномозкова травма: відновлювальне лікування в проміжному і пізньому періодах: дис. д-ра мед. наук: / Морозов Іван Миколайович. – Харків, 2016. – 338 с.