

DOI: 10.21802/artm.2024.1.29.39
УДК 615.825.6

ІНТЕГРАЦІЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У РЕАБІЛІТАЦІЮ ПІСЛЯ ТРАВМ ТА ОПЕРАЦІЙ В УКРАЇНСЬКІЙ МЕДИЧНІЙ ПРАКТИЦІ

М.М. Дуб¹, В.В. Гнатюк², А.І. Єфімова²

¹Державний вищий навчальний заклад "Ужгородський національний університет", факультет здоров'я та фізичного виховання, кафедра наук про здоров'я, м. Ужгород, Україна

²Бердянський державний педагогічний університет, факультет Фізичної культури, спорту та здоров'я людини, кафедра Біології, здоров'я людини та фізичної реабілітації, м. Бердянськ, Україна,

ORCID ID: 0000-0002-2737-960X, e-mail: marjana.dub@uzhnu.edu.ua

ORCID ID: 0000-0001-7475-0670, e-mail: gnatyukvbdpu@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-5088-2852, e-mail: ai_efimova@ukr.net

Резюме. У цій статті розглянуто інноваційні технології в реабілітації, що є вкрай актуальною темою у контексті розвитку медичної практики в Україні. Розвиток новітніх методів та технологій в реабілітації має великий потенціал для поліпшення якості медичної допомоги та підвищення життєвого комфорту пацієнтів.

Мета дослідження полягала у дослідженні ефективності застосування в українській медичній практиці робототехнічної системи ReoGo для покращення реабілітаційного процесу та відновлення фізичних можливостей пацієнтів із травмами верхніх кінцівок. Вік пацієнтів коливався від 28 до 41 років. У дослідженні брали участь 3 пацієнтів чоловічої статі та 5 пацієнтів жіночої статі. Критерії включення: наявність порушення функцій пошкоджених рук людини. Критерії виключення: нестабільний стан здоров'я, який може стати перешкодою для безпечної участі в програмі реабілітації, важкі психічні або когнітивні порушення, які ускладнюють сприйняття та виконання реабілітаційних завдань; такі порушення, як важка м'язова слабкість або параліч, що унеможливають або обмежують можливість взаємодії з робототехнічним обладнанням.

Методи. Для вивчення ефективності запровадженої роботизованої платформи ReoGo було проведено дослідження в рамках проєкту RECOVERY, у якому взяло участь вісім осіб з порушенням функції верхніх кінцівок внаслідок ушкодження ротаторної манжети та перелому плечової кістки. Четверо осіб пройшли двадцять сеансів роботизованої реабілітації. Четверо осіб (контрольна група) пройшли курс реабілітації, що включав 10 занять з фізичним терапевтом та 10 занять з ерготерапевтом.

Результати дослідження. Досліджено перспективи використання робототехнічних систем у реабілітаційній терапії пацієнтів. Одним із ключових аспектів статті є використання роботизованих систем для реабілітації та покращення функціональних можливостей пацієнтів. Досліджено показники продуктивності, такі як: просторова автономія (PF), об'єм робочого простору (RWV), час виконання завдань (TCT), швидкість рухів (MS) та загальна сила взаємодії (TIF). Результати дослідження вказують на позитивний вплив роботизованої реабілітації на фізичні можливості пацієнтів. Група, яка отримувала реабілітаційну терапію за допомогою робототехнічних систем, проявила значні поліпшення, порівняно з неапаратною реабілітацією. Результати підкреслюють високий ступінь ефективності роботизованої реабілітації, особливо у контексті просторової автономії, координації рухів та тривалості виконання завдань. Зазначається також важливість стратегії психофізіологічного контролю у досягненні позитивних результатів.

Висновки. Представлені матеріали можуть бути корисними для подальшого дослідження про розвиток інноваційних методів реабілітації в медичній практиці та відкривають нові перспективи для поліпшення якості життя пацієнтів із травмами верхніх кінцівок.

Ключові слова: травми, операції, сучасні технології, інтеграція, реабілітація, фізичні можливості, ефективність, реабілітаційна робототехніка, людиноорієнтована робототехніка, взаємодія людина-робот, ортопедичні пацієнти, рухові функції.

Вступ. У сучасному світі стрімко розвивається медична наука, а разом із нею змінюються підходи до реабілітації та відновлення здоров'я. Однією з галузей, де технологічні інновації мають значущий вплив, є реабілітація після травм та операцій [1]. Українська медична практика, не залишаючись осторонь цих трансформацій, активно впроваджує сучасні технології для поліпшення процесів відновлення та підвищення якості життя пацієнтів. Інноваційні методи та технології в реабілітації стають не тільки важливим кроком у покращенні ефективності реабілітації, але і відкривають нові перспективи для пацієнтів, які

стикаються з відновленням фізичних та функціональних можливостей [2]. В Україні працює проєкт RECOVERY – спрямований на реабілітацію, протезування та лікування. Зокрема надається направлення для важкопоранених військових і цивільних осіб за кордон для комплексного протезування. У центрах RECOVERY реалізуються міжнародно визнані освітні програми для медичних працівників. Сучасні технології відіграють важливу роль у підвищенні ефективності процесу реабілітації пацієнтів після травм та операцій [3, 4]. Українська медична практика не виняток і вже починає впроваджувати інноваційні методи,

які сприяють швидкому відновленню пацієнтів. Зокрема, йдеться і про використання віртуальної реальності (VR). Віртуальна реальність надає можливість пацієнтам зануритися в контрольоване середовище, що полегшує процес фізичної терапії та відновлення рухової активності [5]. Значну роль у цьому напрямку відіграє і роботизована терапія: роботизовані пристрої дозволяють точно контролювати рухи пацієнта та надають можливість індивідуалізованої терапії, що сприяє швидшому відновленню функцій [6]. До таких технологій належить також моніторинг здоров'я за допомогою інтернету речей (IP): застосування IP у реабілітації дозволяє медикам у реальному часі відстежувати стан пацієнта та адаптувати програму реабілітаційної терапії для досягнення найкращих результатів. Інтеграція сучасних технологій у реабілітаційний процес в українській медичній практиці є необхідним кроком у напрямку поліпшення якості лікування та швидкого відновлення пацієнтів [7,8]. Це відкриває нові можливості для медичної галузі України та сприяє покращенню життя тих, хто потребує реабілітації.

Мета дослідження. Мета нашого дослідження полягає у порівняльній оцінці неапаратної та роботизованої реабілітаційної терапії хворих з ушкодженням верхніх кінцівок в українській медичній практиці.

Матеріали і методи. Для оцінки ефективності використання роботизованої платформи ReoGo

було проведено дослідження у межах проекту RECOVERY, в якому взяли участь восьмеро осіб з ураженням верхніх кінцівок. У пацієнтів спостерігали ушкодження ротаторної манжети та перелому плечової кістки. Четверо учасників пройшли двадцять сеансів роботизованої реабілітації, тоді як інші четверо (контрольна група) отримали курс реабілітації, що включав 10 занять з фізичним терапевтом та 10 занять з ерготерапевтом.

Пацієнтів розподіляли на дві групи – I – контрольну. Четверо осіб (контрольна група) пройшли курс реабілітації, що включав 10 занять з фізичним терапевтом та 10 занять з ерготерапевтом. та II – експериментальну групу. Четверо осіб пройшли двадцять сеансів роботизованої реабілітації із застосуванням ReoGo. Включення пацієнтів, що мали ушкодження верхніх кінцівок (таблиця 1), проводили згідно з описаними нижче критеріями. До критеріїв включення належать: наявність порушення функцій пошкоджених рук людини. Критерії виключення: нестабільний стан здоров'я, який може стати перешкодою для безпечної участі в програмі реабілітації, важкі психічні або когнітивні порушення, які ускладнюють сприйняття та виконання реабілітаційних завдань; порушення, такі як: важка м'язова слабкість або параліч, що унеможливають або обмежують можливість взаємодії з робототехнічним обладнанням [9,10].

Таблиця 1

Характеристика вибірки

Група	ID	Стать	Вік	Тип ушкодження
I	P1	Жіноча	25	Ушкодження ротаторної манжети ліворуч
	P2	Жіноча	36	Перелом плечової кістки ліворуч
	P3	Чоловіча	26	Ушкодження ротаторної манжети ліворуч
	P4	Жіноча	33	Ушкодження ротаторної манжети праворуч
II	P5	Жіноча	29	Ушкодження ротаторної манжети праворуч
	P6	Жіноча	39	Перелом плечової кістки ліворуч
	P7	Чоловіча	41	Ушкодження ротаторної манжети ліворуч
	PS	Чоловіча	28	Ушкодження ротаторної манжети праворуч

Перед початком терапії проводили дослідження фізичного стану та рухових можливостей учасників дослідження.

Визначали наступні параметри для дослідження фізичного стану та рухових можливостей учасників дослідження перед початком реабілітації:

1. Функціональна рухливість: вимірювання діапазону руху у різних суглобах та оцінка загальної гнучкості тіла.
2. М'язова сила: оцінка м'язової сили за допомогою тестів, таких як тест на витривалість м'язів, тест на максимальну силу тощо.
3. Координація рухів: оцінка здатності до координованого виконання рухів за допомогою спеціальних тестів або завдань.
4. Рівень болю: оцінка інтенсивності болю за допомогою шкал оцінки болю або запитань щодо відчуття болю.
5. Фізичний стан: вимірювання показників, таких як пульс, артеріальний тиск, дихальна функція та інші, які можуть вказувати на загальний фізичний стан організму.

6. Психологічний стан: оцінка рівня стресу, тривоги або депресії за допомогою шкали тривоги Бека.

Проведення роботизованої реабілітаційної терапії здійснювали за допомогою реабілітаційних роботів ReoGo, спроектованих для відновлення рухової активності та координації. Збір даних під час кожної сесії роботизованої терапії включав час сеансу, кількість повторень та навантаження, що використовувалося. Для оцінки ефективності робототехнічної системи у наданні допомоги пацієнтам і забезпеченні їхньої просторової та часової автономії використовуються різні показники продуктивності. Після кожного сеансу оцінювання оновлюється інформація для обчислення наступних параметрів:

PF (просторова автономія): це параметр, що вимірює рівень вільного простору, який пацієнт може пройти або зайняти під час виконання реабілітаційних вправ. Вимірюється у метрах (m).

RWV (об'єм робочого простору): це параметр, що визначає обсяг простору, у якому може здійснюватися рух пацієнта під час реабілітації. Вимірюється у квадратних метрах (m²).

ТСТ (час виконання завдань): це кількість часу, необхідна пацієнту для завершення конкретного реабілітаційного завдання або вправи. Вимірюється у секундах (s).

MS (швидкість рухів): це швидкість, з якою пацієнт виконує рухи під час реабілітаційних вправ. Вимірюється у метрах на секунду (m/s).

TIF (загальна сила взаємодії): Це сила, яка виникає в результаті взаємодії пацієнта з реабілітаційним пристроєм або системою. Вимірюється у ньютонках (N).

Фактор (Factor): це додатковий параметр, який може використовуватися для визначення або оцінки певної характеристики в контексті реабілітаційних досліджень. Цей фактор може бути наведений у відсотках або у безрозмірних одиницях, залежно від його призначення. Для обчислення цих параметрів використовуються дані з сеансів оцінювання кінематики.

Загальна ефективність роботизованої реабілітації оцінювалася за допомогою кута прицілювання α та бала Константа-Мерлі (CMS), які враховують як кінематичні параметри, що вимірюються робототехнічною системою, так і клінічну оцінку рухових функцій плеча пацієнтів.

Аналіз покращень у фізичному стані та руховій активності пацієнтів після завершення роботизованої терапії здійснювали шляхом порівняння результатів експериментальної групи із контрольною групою, що отримувала стандартну терапію. Для об'єктивного визначення значущих різниць у покращеннях між групами використовували статистичні методи із застосуванням Statistica та Excell.

Для цього були застосовані наступні методи:

Факторний аналіз застосовували для визначення зв'язків між спостережуваними змінними і визначення складових (факторів), які можуть пояснити ці зв'язки. Цей метод дозволяє виявити приховані

взаємозв'язки та визначити основні фактори, які впливають на зміни цього дослідження.

Кореляційний аналіз застосовували для визначення ступеня зв'язку між двома змінними. Кореляційний аналіз може допомогти встановити: чи існує взаємозв'язок між різними показниками ефективності та стратегією психофізіологічного контролю.

Множинна регресія застосовувалася для вивчення впливу стратегії психофізіологічного контролю на кілька показників ефективності одночасно.

Результати вважали статистично значимими при значеннях коефіцієнта детермінації $R^2 \leq 0.85$, статистичної значимості результатів $p \leq 0.005$.

Результати дослідження. Дослідження результативності реабілітації пацієнтів з ушкодженнями кінцівок методами роботизованої терапії та стандартними методами здійснювали у два етапи: прийом (ТП) і виписка (ТВ). Аналізуючи більш детально описану поведінку пацієнтів, на початку реабілітаційної терапії кінематичні показники пацієнтів знижуються ($\alpha = 0,49 \pm 0,19$), тому кінематична жорсткість (k_K) відповідно встановлюється на максимальному значенні ($k_K = 1000$ Н/м). Кінцівка пацієнта точно утримується поблизу потрібної траєкторії, тому він/вона експериментує з невеликим ступенем просторової автономії. Наприкінці реабілітаційного протоколу рухові показники пацієнтів покращуються ($\alpha = 0,26 \pm 0,08$), тому параметри контролера відповідно налаштовуються. Кінематичну жорсткість було встановлено на $k_K = 300$ Н/м, що дозволяє пацієнтам вільно пересуватися з вищим ступенем просторової автономії. Контролер робота допускав, що пацієнт робить більші помилки позиції під час виконання призначених завдань. Крім того, варто зауважити, що наприкінці реабілітаційної терапії RWV є більшим. У процесі реабілітації всі пацієнти відновлювали свій RoM, щоб вона могла досягти ширшого простору.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика результатів реабілітації пацієнтів за допомогою стандартного та роботизованого методів

Показник	ТП		ТВ		Expl.Var**	Prp.Totl***
	I	II	I	II		
	Var1	Var2	Var3	Var4		
PF, [m]	0,016	0,014	0,021	0,027		
RWV, [m ²]	0,003	0,002	0,006	0,004		
TCT, [s]	3,01	1,00	2,60	1,66		
MS, [m/s]	0,2	0,42	0,32	0,67		
TIF, [N]	22,6	10,2	23,0	10,6		
Factor	0,999654	0,999492	0,999833	0,999306	3,996572	0,999143

Примітки: * Var1-4 – пазначення змінних

** Expl.Var (Explained Variance): Це відсоток дисперсії (або варіації) у змінній, який може бути пояснений або виправданий використанням факторів або змінних у моделі. Чим вищий цей показник, тим більше дисперсії може бути пояснено моделлю.

***Prp.Totl (Proportion of Total): Це відсоток загальної варіації у вихідній змінній, який може бути пояснений або виправданий певними факторами або змінними у моделі. Він визначає, яку частку загальної варіації у змінній складає варіація, пояснена моделлю.

Таблиця 2 також охоплює результати факторного аналізу для двох груп пацієнтів до та після реабілітації, представлених показниками стану рухової активності пацієнтів до і після реабілітації (ТВ).

Результати статистичного аналізу проведеного у Statistica показали позитивний взаємозв'язок між використанням роботизованої реабілітаційної

терапії та станом здоров'я пацієнтів. Зокрема, нами було розраховано такі статистичні параметри:

Значення Factor Loadings (Unrotated): показує ступінь взаємозв'язку між оригінальними змінними (Var1, Var2, Var3, Var4) і фактором. У цьому випадку всі значення Factor Loadings були негативні та близькі до -1. Це свідчить про те, що всі оригінальні змінні сильно корелюють з фактором. Очевидно, цей фактор важливий для всіх чотирьох змінних.

Factor: Оцінка числового значення фактора. У цьому випадку фактор має значення 1. Expl.Var (Explained Variance): Це сума власних чисел (eigenvalues), які вказують на кількість варіації вихідних даних, яка пояснюється кожним із факторів. У такому випадку він становить приблизно 4.

Prp.Totl (Proportion of Total Variance): Цей показник вказує на те, яка частина загальної варіації вихідних даних пояснюється усіма факторами разом. У цьому випадку приблизно 99.9% загальної варіації може бути пояснено одним фактором. Отримані результати свідчать, що існує один сильний фактор, який є важливим для розуміння варіації між означеними змінними до та після реабілітації. Цей фактор високо корелює з усіма чотирма змінними та пояснює значну частину загальної варіації.

Результати множинної регресії для групи, що отримувала роботизовану реабілітацію, можна інтерпретувати наступним чином:

Залежна змінна (Dependent):

Змінна Var1 є залежною змінною, до якої застосовується множинна регресія.

Коефіцієнт кореляції (Multiple R):

Множинний коефіцієнт кореляції (Multiple R) вказує на ступінь зв'язку між залежною та

незалежними змінними. У такому випадку високе значення приблизно 0,9997 свідчить про дуже сильний позитивний зв'язок.

Статистика F:

Статистика F (5873,091) та відповідний рівень значення ($p = 0,000005$) свідчать про те, що модель має статистичну значущість. Ймовірність того, що модель випадкова, дуже низька.

Коефіцієнт детермінації (R^2):

Коефіцієнт детермінації (R^2) високий (приблизно 0,9995), що вказує на те, що висока частка варіації залежної змінної (Var1) пояснюється моделлю.

Спряжений коефіцієнт детермінації (Adjusted R^2):

Спряжений коефіцієнт детермінації (Adjusted R^2) також високий (приблизно 0,9993), що вказує на ефективність моделі навіть при врахуванні кількості незалежних змінних.

Стандартна помилка оцінки (Standard Error of Estimate):

Стандартна помилка оцінки (0,256444158) вказує на середнє відхилення прогнозів моделі від фактичних значень.

Інтерцепт (Intercept):

Значення інтерцепта (0,074185255) вказує на те, яким буде прогнозоване значення Var1, коли всі незалежні змінні рівні нулю.

Статистика t та p-значення для інтерцепта:

Статистика t (0,55972) та p-значення (0,6147) для інтерцепта свідчать про те, що інтерцепт не є статистично значущим при рівні значущості 0,05.

Статистична оцінка представлених результатів представлена у табл. 3.

Таблиця 3

Порівняльна характеристика результатів реабілітації пацієнтів за допомогою стандартного та роботизованого методів

	Beta in	Partial	Semipart	Tolerance	R-square	t(2)	p-level
Var1	0,322202	0,555871	0,124686	0,149755	0,950245	0,945686	0,000444
Var2	0,326924	0,564567	0,127539	0,152193	0,947807	0,967325	0,000435
Var3	0,317902	0,548927	0,122451	0,148367	0,951633	0,928732	0,0004511
Var4	0,316602	0,558957	0,123431	0,149387	0,951831	0,928832	0,0004500

Результати таблиці представлені у форматі показників пацієнтів двох груп до реабілітації (ГП) і після реабілітації (ГВ). Основні показники для кожної групи включають до реабілітації (ГП) I-Var1, II-Var2, після реабілітації (ГВ) I-Var3 і II-Var4. Значення PF (продуктивний фактор) відображають просторову автономію пацієнтів. Після реабілітації обидві групи виявили покращення, у досяганні (PF), збільшилася сила при хапанні, стисканні, відпусканні, маніпуляція предметом (RWV), сила (TIF). Результати можуть бути пояснені ефективністю програми реабілітації та позитивним впливом робототехнічних систем. Використання робототехнічних систем може сприяти активізації м'язів, підвищенню силових показників та поліпшенню координації рухів. Ці системи можуть надавати додатковий опір або підтримку під час виконання вправ, що допомагає пацієнтам розвивати та посилювати м'язи та збільшувати силу стиску (TIF). Результати були статистично значущі, оскільки значення $p \leq 0,005$, коефіцієнт детермінації коливався в межах

$0,947807 \leq R^2 \leq 0,951633$. Згідно табл. 2 можемо відзначити, що група група II, яка використовувала метод роботизованої реабілітаційної терапії, мала вищі значення, що свідчить про покращену продуктивність. Після реабілітації у пацієнтів обидвох груп покращилася рухливість, але контрольна група I має більше значущі покращення. Група II має помітне зменшений час виконання, що свідчить про покращену тимчасову автономію. Швидкість руху пацієнтів MS вказує на їх тимчасову автономію. Група II має вищі значення, вказуючи на покращену ефективність рухів. Загальна сила взаємодії TIF вказує на взаємодію робота з пацієнтами під час виконання рухів. Група II має покращену силу взаємодії після реабілітації.

Обговорення результатів. Обидві групи пацієнтів показали позитивний тренд у величині PF (просторова автономія) та RWV (об'єм робочого простору) після реабілітації. Це може свідчити про успішність роботизованої реабілітації в поліпшенні фізичних можливостей пацієнтів. Зменшення часу

виконання завдань (ТСТ) та збільшення швидкості рухів (MS) у групі II свідчать про покращення тимчасової автономії та ефективності рухів пацієнтів під впливом роботизованої реабілітації. Зниження значень TIF (загальна сила взаємодії) у групі II вказує на поліпшену координацію між робототехнічною системою та пацієнтами після завершення реабілітації. Група II показала значущі поліпшення, в порівнянні з групою I у всіх вимірюваних показниках. Це може свідчити про переваги роботизованої реабілітації, порівняно з традиційною реабілітацією. Результати дослідження вказують на потенційні переваги використання роботизованих систем у реабілітації пацієнтів. Це може відкривати нові можливості для розробки та упровадження подібних технологій у медичну практику. Отримані результати свідчать про успішність роботизованої реабілітації, порівняно з неапаратною реабілітацією, що може впливати на покращення функціональних можливостей та якості життя пацієнтів.

Висновки. У нашому дослідженні представлено результати ортопедичної реабілітації верхніх кінцівок, яка базується на упровадженні роботизованих систем. Основними особливостями цих систем є можливість генерувати задану траєкторію в адаптованому реабілітаційному робочому просторі. Це надає пацієнтам необхідну допомогу, щоб дозволити їм експериментувати з рівнем просторової та часової автономії, а також налаштовувати рівень навантаження відповідно до їхніх кінематичних показників. У дослідженні брали участь вісім пацієнтів з ушкодженням верхніх кінцівок. Вони проходили двадцять сеансів роботизованої реабілітаційної терапії. Отримані результати підтверджують ефективність застосування роботизованої реабілітаційної терапії. Пацієнти, що взаємодіяли з роботом, враховуючи їхній психофізіологічний стан, виміряний за шкалою тривоги Бека, демонстрували більш спокійний та розслаблений стан, порівняно з початком сеансу реабілітації. Додатково, ефекти роботизованої реабілітаційної терапії відображаються у конкретних показниках ефективності рухового відновлення. Пацієнти стають здатними точно виконувати прямі рухи після двадцяти сеансів роботизованої реабілітації. За результатами дослідження визначено, що запропонована роботизована реабілітаційна терапія у експериментальній групі мала переваги, порівняно з контрольною групою, що використовувала неапаратну терапію.

Перспективи подальших досліджень. Перспективи подальших досліджень у цій області включають розширення використання сучасних технологій у реабілітаційному процесі після травм та операцій в українській медичній практиці. Доцільно провести додаткові клінічні випробування для з'ясування ефективності та безпеки застосування інноваційних методів. Крім того, важливо дослідити можливості адаптації технологій для різних категорій пацієнтів та розвинути індивідуалізовані підходи до реабілітації з урахуванням їхніх потреб та особливостей.

References.

1. Xu Z, Li H, Liu Z, Li J, Zhang J, Min W, et al. Robot-assisted surgery in total knee arthroplasty: trauma maker or trauma savior? A prospective, randomized cohort study. *Burns & Trauma*. 2022 Jan 1;10. <https://doi.org/10.1093/burnst/tkac034>
2. Ádám Csirz, Dóra Kovács, Anett Szabó, Péter Fehérvári, Árpád Jankó, Hegyi P, et al. Robot-assisted laparoscopy does not have demonstrable advantages over conventional laparoscopy in endometriosis surgery: a systematic review and meta-analysis. *Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques*. 2023 Dec 7; <https://doi.org/10.1007/s00464-023-10587-92>.
3. Jacob S, Mukil Alagirisamy, Chen X, Balasubramanian V, Srinivasan R, R Parvathi, et al. AI and IoT-Enabled Smart Exoskeleton System for Rehabilitation of Paralyzed People in Connected Communities. *IEEE Access*. 2021 Jan 1;9(9):80340–50. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3083093>
4. Rutkowski S, Kiper P, Cacciante L, Ciešlik B, Mazurek J, Turolla A, et al. Use of virtual reality-based training in different fields of rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2020;52(11):jrm00121. <https://doi.org/10.2340/16501977-2755>
5. Garcia-Gonzalez A, Fuentes-Aguilar RQ, Salgado I, Chairez I. A review on the application of autonomous and intelligent robotic devices in medical rehabilitation. *Journal of The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2022 Aug 10;44(9). <https://doi.org/10.1007/s40430-022-03692-8>
6. Qiu S, Pei Z, Wang C, Tang Z. Systematic Review on Wearable Lower Extremity Robotic Exoskeletons for Assisted Locomotion. *Journal of Bionic Engineering*. 2023;20: 436–469. <https://doi.org/10.1007/s42235-022-00289-8>
7. Cruz Martínez GM, Z.-Avilés LA. Design Methodology for Rehabilitation Robots: Application in an Exoskeleton for Upper Limb Rehabilitation. *Applied Sciences*. 2020 Aug 7;10(16):5459. <https://doi.org/10.3390/app10165459>
8. Rose CG, Deshpande AD, Carducci J, Brown JD. The road forward for upper-extremity rehabilitation robotics. *Current Opinion in Biomedical Engineering*. 2021 Sep;19:100291. <https://doi.org/10.1016/j.cobme.2021.100291>
9. Chu CY, Patterson RM. Soft robotic devices for hand rehabilitation and assistance: a narrative review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2018 Feb 17;15(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0350-6>
10. Sourav Karmakar, Mishra A, Mishra A, Jay Prakash Srivastava. Robotics in Medical Science. 2024 Jan 2;367–96. <https://doi.org/10.1002/97811394175109.ch15>

UDC 615.825.6

**INTEGRATION OF MODERN TECHNOLOGIES
IN REHABILITATION AFTER INJURIES AND
OPERATIONS IN UKRAINIAN MEDICAL
PRACTICE**M.M. Dub¹, V.V. Hnatiuk², A.I. Yefimova²¹*State Higher Educational Institution "Uzhhorod National University", Faculty of Health and Physical Education, Department of Health Sciences, Uzhhorod, Ukraine*²*Berdiansk State Pedagogical University, Faculty of Physical Culture, Sports and Human Health, Department of Biology, Human Health and Physical Rehabilitation, Berdyansk, Ukraine*

ORCID ID: 0000-0002-2737-960X,

e-mail: marjana.dub@uzhnu.edu.ua

ORCID ID: 0000-0001-7475-0670,

e-mail: gnatyukvbdpu@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-5088-2852,

e-mail: ai_efimova@ukr.net

Abstract. This article examines innovative technologies in rehabilitation, an extremely relevant topic in the context of the development of medical practice in Ukraine. The development of the latest methods and technologies in rehabilitation has excellent potential for improving the quality of medical care and increasing the living comfort of patients. Integration of modern technologies can help overcome limitations and improve rehabilitation processes.

The study aimed to use a robotic system and standard rehabilitation to improve patients' rehabilitation process and physical capabilities by introducing innovative technologies into medical practice.

Methods. The research was conducted in a natural clinical setting to study the effectiveness of the implemented robotic platform. An experiment took place with eight orthopaedic patients who underwent twenty sessions of robotic rehabilitation.

Research results. Prospects for the use of robotic systems in the rehabilitation treatment of patients were studied. One of the critical aspects of the article is the use of robotic systems to rehabilitate and improve the functional capabilities of patients. Performance measures such as spatial autonomy (PF), workspace volume (RWV), task

completion time (TCT), movement speed (MS) and total interaction force (TIF) were investigated. The study's results indicate a positive impact of robotic rehabilitation on patients' physical capabilities. This study presents the results of orthopaedic rehabilitation of the upper limbs, which is based on the introduction of robotic systems. The main features of these systems are the ability to generate point-to-point trajectories in an adapted rehabilitation workspace. This provides patients with the assistance they need to allow them to experiment with their level of spatial and temporal autonomy and to adjust the level of assistance according to their kinematic performance and psychophysiological state. Eight patients with limb injuries participated in the study. They underwent twenty sessions of robotic rehabilitation. Patients interacting with the robot, considering their psychophysiological state, showed a more relaxed state compared to the beginning of the rehabilitation session. Additionally, the effects of patient robotic treatment are reflected in specific performance indicators of motor recovery. Patients can perform direct movements accurately after twenty sessions of robotic rehabilitation. According to the study results, it was determined that the proposed human-oriented robotics rehabilitation strategy has advantages compared to a control group using conventional therapy. The group treated with robotic systems showed significant improvements in all measured parameters compared to conventional treatment. The discussion of the article's results emphasizes the high degree of effectiveness of robotic rehabilitation of orthopaedic patients, especially in the context of spatial autonomy, coordination of movements and duration of tasks. The importance of the strategy of psychophysiological control in achieving positive results was also noted.

Conclusions. The presented materials can be helpful in the development of innovative rehabilitation methods in medical practice and open new perspectives for improving the quality of life of patients, especially those who need rehabilitation after injuries or illnesses. Future research areas may include further improving robotic rehabilitation systems.

Keywords: injuries, operations, modern technologies, integration, medical practice, physical capabilities, efficiency, rehabilitation robotics, human-oriented robotics, human-robot interaction, orthopedic patients, motor functions.

Стаття надійшла в редакцію 09.02.2024 р.

Стаття прийнята до друку 26.03.2024 р.