

УДК 616.728.3-089.22-089.168:615.477.4](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872026176-84>

Аналіз якості реабілітації пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка за допомогою роботичного ортезу

А. С. Герасименко, О. Є. Юрик, С. І. Герасименко,
О. В. Майко, В. В. Громадський, А. В. Грищенко

ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України», Київ

Objective. To analyze the results of treatment using a robotic orthosis during the rehabilitation of patients following arthroscopy who developed pain in the anterior compartment of the knee joint (KJ), using clinical and instrumental assessments of their condition. *Methods.* We reviewed the medical records of 120 patients with anterior knee pain syndrome (46 women aged (28.6 ± 7) years and 74 men aged (38.2 ± 8) years). Patients underwent rehabilitation in a robotic orthosis with various body weight support settings ranging from 65% to 10%. A multivariate analysis of clinical indicators was performed, including pain levels on the Visual Analog Scale (VAS) and the Anterior Knee Pain Scale (AKPS). Joint functional characteristics were assessed using the Knee Society Score (KSS). *Results.* The functional status of 60 patients was analyzed. Six weeks after surgery, the mean VAS score was 3.8 ± 0.3 in group 1 and 1.8 ± 0.4 in group 2; the difference 2.00, $t \approx 30.99$, $p < 0.001$; for KSS (part 1) in group 1 — 68 ± 6.5 ; in group 2 — 83 ± 2.3 ; difference -15.00 , $t \approx -16.85$, $p < 0.001$; for KSS (part 2), the means were 72 ± 4.8 versus 80 ± 3.2 ; difference -8.00 , $t \approx -10.74$, $p < 0.001$, indicating better function in group 2. The AKPS score was 64 ± 5.8 in group 1 and 76 ± 3.8 in group 2; difference -12.00 , $t \approx -13.40$, $p < 0.001$. After 3 months, the VAS score in group 1 was 2.2 ± 0.6 , and in group 2 — 1.2 ± 0.4 ; difference 1.00, $t \approx 10.74$, $p < 0.001$; for KSS (part 1) 78 ± 4.7 vs. 90 ± 2.2 ; difference -12.00 , $t \approx -17.92$, $p < 0.001$; for KSS (part 2) — 80 ± 3.8 vs. 90 ± 1.8 ; difference -10.00 , $t \approx -18.42$, $p < 0.001$; AKPS after 3 months was 76 ± 1.6 in group 1 and 89 ± 2.0 in group 2; difference -13.00 , $t \approx -39.34$, $p < 0.001$. *Conclusions.* All confidence intervals for the differences do not include 0, so the differences are statistically significant; the effect sizes are large, indicating a clinically important advantage of using a robotic orthosis for pain reduction and improvement of upper limb function. *Key words.* Knee arthroscopy; rehabilitation; robotic orthoses; Lokomat Pro; anterior knee pain syndrome; neuroplasticity.

Мета. Проаналізувати результати лікування зі застосуванням роботичного ортезу під час реабілітації пацієнтів після артроскопії, у яких розвинувся біль у передньому відділі колінного суглоба (КС) за допомогою клінічного й інструментального оцінювання його стану. *Методи.* Вивчено історії хвороб 120 осіб із синдромом переднього болю в КС (46 жінок віком $(28,6 \pm 7)$ років і 74 чоловіків $(38,2 \pm 8)$ років). Пацієнтам проводилась реабілітація в роботизованому ортезі з різними налаштуваннями підтримки маси тіла від 65 до 10 %. Виконано багатофакторний аналіз клінічних показників, включаючи рівень болю за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ) та Anterior Knee Pain Scale (AKPS). Вивчено функціональні характеристики суглоба за Knee Society Score (KSS). *Результати.* Проаналізовано функції пацієнтів із 60 осіб. Через 6 тижнів після операції середній ВАШ складав у групі 1 — $3,8 \pm 0,3$; у 2 — $1,8 \pm 0,4$; різниця 2,00, $t \approx 30,99$, $p < 0,001$; за KSS (част. 1) у групі 1 — $68 \pm 6,5$; у 2 — $83 \pm 2,3$; різниця $-15,00$, $t \approx -16,85$, $p < 0,001$; за KSS (част. 2) середні становили $72 \pm 4,8$ проти $80 \pm 3,2$; різниця $-8,00$, $t \approx -10,74$, $p < 0,001$, що свідчить про кращу функцію у групі 2. Показник AKPS був $64 \pm 5,8$ у групі 1 і $76 \pm 3,8$ у 2; різниця $-12,00$, $t \approx -13,40$, $p < 0,001$. Через 3 міс. ВАШ у групі 1 становив $2,2 \pm 0,6$, у 2 — $1,2 \pm 0,4$; різниця 1,00, $t \approx 10,74$, $p < 0,001$; за KSS (част. 1) $78 \pm 4,7$ проти $90 \pm 2,2$; різниця $-12,00$, $t \approx -17,92$, $p < 0,001$; за KSS (част. 2) — $80 \pm 3,8$ проти $90 \pm 1,8$; різниця $-10,00$, $t \approx -18,42$, $p < 0,001$; AKPS через 3 міс. становив $76 \pm 1,6$ у групі 1 і $89 \pm 2,0$ у 2; різниця $-13,00$, $t \approx -39,34$, $p < 0,001$. *Висновки.* Усі довірчі інтервали для різниць не включають 0, отже відмінності є статистично значущими; величини ефекту великі, що свідчить про клінічно важливу перевагу застосування роботичного ортезу для зниження болю та покращення функції КС.

Ключові слова. Артроскопія колінного суглоба; реабілітація; роботизовані ортези; синдром «переднього болю» колінного суглоба; тендинопатія вляяної зв'язки наколінка; нейропластичність

Вступ

Тендинопатія власної зв'язки наколінка часто зустрічається після артроскопічних втручань на колінному суглобі (КС). Вона супроводжується болем, функціональними обмеженнями та зниженням якості життя пацієнтів [3]. Реабілітація після артроскопії КС зазвичай спрямована на відновлення рухливості, силової функції та нормальної його біомеханіки. Її програми включають контрольований розвиток діапазону рухів, поступове наростання навантаження на квадрицепс, пропріоцептивні вправи та роботу над ходою і функціональними завданнями [1, 2]. Потрібно досягти зменшення болю і набряку, відновлення симетрії м'язової сили й координації, а також попередити контрактури і хронічні порушення руху. Проте традиційні підходи до реабілітації, які ґрунтуються на відносному відпочинку та дозуванні навантаження, часто є тривалими і не завжди забезпечують оптимальне відновлення [4]. У пацієнтів, в яких у післяопераційному періоді діагностовано тендинопатію власної зв'язки наколінка, реабілітація значно ускладнюється і часто має незадовільні результати. Болісність під час навантаження, зменшення обсягу рухів і слабкість квадрицепса ускладнюють виконання стандартних відновлювальних вправ, що зменшує прогрес і може призвести до компенсаторних порушень руху [5–9]. Такі пацієнти частіше потребують модифікації протоколів — уповільненого нарощування навантаження, цілеспрямованих ексцентричних вправ, додаткових фізіотерапевтичних методик (ультразвук, лазер, електроміостимуляція) і тривалішого утримування від спортивної активності. Як наслідок відновлення функції і повернення до доопераційного рівня активності можуть займати значно більше часу, а ризик рецидиву або хронізації болю залишається вищим.

Наразі існує потреба в інноваційних методах, здатних прискорити та покращити результати реабілітації, особливо для молодих осіб, які прагнуть швидкого повернення до спортивної активності [10]. Отже використання передових технологій, таких як роботизована реабілітація, набуває особливої актуальності в контексті оптимізації відновлення після артроскопічних втручань [10]. Водночас у багатьох випадках протоколи реабілітації є недостатньо деталізованими, що ускладнює їхнє застосування й об'єктивну оцінку результатів.

У цьому дослідженні ми порівнюємо ефективність реабілітації осіб із тендинопатією власної зв'язки наколінка після артроскопії КС за допомогою роботичного ортезу з традиційними методиками, зосереджуючись на об'єктивних показниках відновлення та функціональних результатах.

Мета: проаналізувати результати реабілітаційного лікування зі застосуванням роботичного ортезу пацієнтів після артроскопії, у яких розвинувся біль у передньому відділі колінного суглоба, за допомогою клінічного й інструментального оцінювання його стану, закласти основу для розробки більш ефективних та індивідуалізованих реабілітаційних протоколів для пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка.

Матеріали та методи

Нами проведено проспективне дослідження, яке включало наступні етапи: обстеження пацієнта до хірургічного втручання, через 14 діб, 6 тижнів та 3 місяці після операції.

Роботу виконано на клінічній базі відділення захворювань суглобів у дорослих ДУ «Інститут травматології та ортопедії Національної академії медичних наук України» (м. Київ) та схвалено локальною етичною комісією (протокол № 1 від 07.01.2026 р.) згідно з правкою ICH GCP, Гельсінської декларації прав людини та біомедицини, а також чинного законодавства України. Усі залучені пацієнти були ознайомлені з планом та умовами проведення роботи, надали письмову й усну згоду.

Критерії включення: вік від 18 до 50 років, ІМТ < 30, підтверджене ушкодження меніска (Stoller 3A-3B) на МРТ, без травм інших внутрішньосуглобових структур, виконане артроскопічне втручання на КС (резекція ураженої частини меніска), розвиток болю в передньому відділі КС в ділянці зв'язки наколінка, тендинопатія власної зв'язки за клінічними й інструментальними даними протягом 14 діб від операції.

Пацієнти, які мали супутні ушкодження структур КС (хондромаліяція, травми передньої/задньої схрещених зв'язок, колатеральних зв'язок, вільні тіла в порожнині суглоба) чи дисплазію суглоба, високе стояння наколінка (*patella alta*), наявними дегенеративними змінами у його зв'язках під час МРТ-дослідження були виключені.

За допомогою методу простої рандомізації та поступового включення спостереження склали 120 осіб із тендинопатією власної зв'язки наколінка (46 жінок віком $(28,6 \pm 7)$ років і 74 чоловіків $(38,2 \pm 8)$ років). Пацієнти були розділені на

2 групи: 1 — класична реабілітація; 2 — реабілітація за допомогою роботичного ортезу. У групі 2 реабілітаційне лікування розпочиналось з 15 доби після операції. Воно складалося з 15 сеансів занять і подальшого спостереження до 3 міс. після артроскопії КС. Потім виконувався контрольний огляд і кінцеве оцінювання стану пацієнтів за шкалами з та без роботичного ортезу [10–12].

Обсяг втручання, який виконувався хворим: артроскопічна резекція ушкодженої частини медіального меніска (ушкодження Stoller 3A-3B за результатами МРТ).

Загальні принципи класичної реабілітації групи 1 [16] з урахуванням тендинопатії: уникання ранніх пікових і швидких ексцентричних навантажень; ізометрія спочатку, потім поступове введення ексцентричних вправ згідно з їхньою переносимістю.

Фаза 0 (0–3 дні):

– заходи: льодові компреси по 10–15 хв кілька разів на добу, підняття кінцівки, компресія / еластичний бандаж, легкі рухи в над'ятковомілково суглобі, ізометричні скорочення квадрицепса (10–20 с утримання, 8–10 разів/год);

– навантаження: часткова опора / хода з милицями за вказівками хірурга.

Фаза 1 (3–14 днів):

– ROM: пасивні й активно-пасивні вправи в межах болю; уникання глибокого згинання, якщо воно болюче;

– м'язова робота: ізометрія квадрицепса, ізометрія привідних груп, легкі ізометричні вправи для гомілки; 3–5 підходів по 8–12 повторів (утримання 10–20 с);

– баланс/пропріоцепція: стояння на обох ногах, поступовий перехід на одну ногу за можливості;

– профілактика тендинопатії: ізометричні вправи для зменшення болю (5–6 разів на день, 30–45 с).

Фаза 2 (2–6 тижнів):

– ROM: повний повільний ROM до дозволено-го; мобілізація суглоба;

– сила: ізоляційні вправи (пряма інтеграція квадрицепса): напівприсідання до 45°, випрямлення ноги в сидячому положенні (без болю), вправи з поступовим навантаженням; 3 підходи по 10–15 повторів;

– тендинопатія: початкові контрольовані ексцентричні вправи (наприклад, повільні ексцентричні присідання/опускання на одній нозі або на похилій площині) починаючи з низької інтенсивності двічі на день, прогресія поступово; під час загострення — повернутися до ізометрії;

– кардіо: велотренажер із низьким опором, ходьба — поступово нарощувати тривалість;

– частота: 3–4 занять фізіотерапії на тиждень плюс домашня програма.

Для реабілітації групи 2 використовували роботичний ортез, хворі пересувались у ньому з різними налаштуваннями підтримки маси тіла, від 65 до 10 %. Тривалість занять складала від 1 до 1,5 години, 3–4 рази на тиждень.

Основні етапи реабілітації за допомогою роботичного ортезу:

1. Оцінювання фізичних показників пацієнта — визначали: стан і фізичні можливості перед початком тренувань;

2. Адаптація хворого. Перед першим тренуванням ознайомлювали з приладом, фіксували в рукавицях, штанах або ремнях для плавного руху;

3. Індивідуальне налаштування приладу відбувалося з урахуванням медичного стану:

– рівень підтримки маси тіла (BWS);

– швидкість ходьби;

– амплітуда руху;

– навантаження з урахуванням особливостей пацієнта.

4. Проведення тренування:

– автоматична ходьба: під контролем роботичного ортезу хворий починає рухатися з природною або адаптованою ходьбою;

– симетрична або асиметрична програма залежно від стану (тренування обох або однієї нижньої кінцівки);

– швидкість і навантаження: початкова швидкість ходьби встановлювалася пацієнтом у комфортному для нього режимі, як правило 1,5 км/год, поступово збільшувалася до 3,0 км/год. Навантаження на нижні кінцівки моделювали за рахунок підтримки маси тіла (BWS), воно становило в динаміці від 100 % (повна підтримка маси тіла) до 10–20 %;

– мобілізація: за допомогою системи рухів приладу й активної участі пацієнта, що сприяє відновленню м'язового тону, координації та моторики.

5. Моніторинг і коригування:

– у процесі тренування контролюють активність, рухову злагодженість, навантаження, швидкість ходи хворого.

6. Завершення й аналіз результатів:

– наприкінці сеансу проводять оцінку прогресу з фіксацією показників (тривалість сеансу, відстань, обсяг рухів у нижній кінцівці (L-ROM), силу м'язів нижніх кінцівок (L-Force), рівень жорсткості або опору руху (L-Stiff).

– на основі результатів і стану пацієнта планується подальша тактика реабілітації.

Початкові сесії виконуються в режимі пасивної або помірно асистованої ходи з помірною підтримкою ваги (BWS 30–50 %), низькою швидкістю (приблизно 0,3–0,6 м/с) й обмеженим L-ROM, щоб уникнути глибокого згинання в ранні терміни; тривалість активної ходи на початку — близько 10–20 хв, загальна сесія 30–45 хв.

Прогресія відбувається поступово: зниження підтримки ваги до 10–30 %, збільшення тривалості й швидкості ходи, зменшення BWS і розширення L-ROM у міру відновлення переносимості й зниження болю; L-Force контролюється для запобігання піковим навантаженням під час активного розгинання в разі слабкості м'язів.

Серед методів суб'єктивної оцінки болю, використаних у дослідженні, застосовували візуальну аналогову шкалу (ВАШ) [20], яка дає змогу пацієнту самостійно визначити рівень болю від 0 (відсутність) до 10 (максимально сильний), шкали Knee Society Score (KSS), Kujala/Anterior knee pain score (AKPS).

Шкала KSS складається з виявлення болю та функції колінного суглоба. Оцінка колінного суглоба виділяє максимум 100 балів для показників діапазону рухів (1 бал на 5°, максимум 125°, стабільності (медіальна/латеральна (15 балів) і передня/задня (10 балів)) і болю (50 балів) із відрахуванням відставання в розгинанні, наявності контрактури згинання та викривлення (якщо вісь нижньої кінцівки < 5 або > 10° під час рентгенологічного обстеження). Максимальна оцінка в 100 балів означає добре вирівняний колінний суглоб з амплітудою рухів 125°, майже повну відсутність передньо-задньої чи медіалатеральної нестабільності й відсутність болю. Функціональна оцінка враховує відстань ходьби (50 балів) та підйом сходами (50 балів) з урахуванням використання допоміжних засобів для ходьби. Пацієнт, який може ходити без обмежень і не має проблем із підйомом сходами, отримує максимальний бал за підшкалою Function Score — 100.

Шкала болю в передньому відділі КС (AKPS, шкала Куяла) — це 13-пунктовий опитувальник для самозвіту, який оцінює суб'єктивні реакції на певні дії та симптоми, які, як відомо, корелюють із синдромом болю в передньому відділі КС. AKPS оцінюється за шкалою від 0 до 100, де 100 — найвищий можливий бал. Нижчі бали відображають більший біль та інвалідність.

Біль у передньому відділі КС часто призводить до порушень, які спричиняють труднощі

під час активності, що створює навантаження на КС (біг, присідання та підйом сходами), а AKPS оцінює ці види діяльності. Цей індекс має високу надійність у разі повторного тестування і є цінним інструментом для оцінювання стану пацієнта в динаміці [13, 14]. Виявлено, що чотири формати шкали AKPS мають прийнятні стандартні похибки вимірювання (від 0,82 до 3,00), високу внутрішню узгодженість (асоef = 0,83–0,91), еквівалентність між короткою та довгою формами ($r = 0,98$), а також помірну та високу критеріальну валідність, що визначається діагнозом лікаря: 0,92 (13-пунктова форма), 0,90 (довга) та 0,90 (коротка) (6-пунктова форма). Опитувальник AKPS є ефективним інструментом епідеміологічного скринінгу з валідною і надійною оцінкою болю в передній частині КС [15].

Використовували динамічний аналіз, який дозволяв оцінити зміни рівня болю, функціональності суглоба та сили м'язів упродовж усього періоду спостереження (обстеження до хірургічного втручання, через 14 діб, 6 тижнів та 3 місяці після операції).

Сила м'язів в обох групах пацієнтів досліджувалася на роботичному ортезі в зазначені часові проміжки.

Клінічний аналіз є найбільш відповідним засобом і стандартним критерієм для діагностики тендинопатії власної зв'язки наколінка.

Першим клінічним завданням є встановлення того, чи є сухожилок джерелом симптомів пацієнта. Найпоширеніший результат мануального обстеження — болючість у фокальній точці [21, 22]. Хоча вона може спостерігатися по всій довжині наколінного сухожилка, найчастіше виникає в нижній частині та дистальному прикріпленні до великогомілкової бугристості. Біль посилюється під час навантаження на розгиначі КС.

Функціональні тести для пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка включають стрибки та приземлення після стрибку [23].

Основним диференційним діагнозом тендинопатії власної зв'язки наколінка є пателофemorальний больовий синдром, який визначається як форма неспецифічного, неструктурного болю в коліні навколо або за наколінком. Цей больовий синдром характеризується крепітацією або «скрипом» під наколінком у разі згинання коліна та болючістю вздовж фасеток [24].

Статистичний аналіз проводили з використанням стандартних підходів. Під час нього застосовували усереднені значення показників пацієнтів. Кількісні дані (середнє значення (M) та

його стандартне відхилення (SD) у досліджуваних групах порівнювали між собою та в динаміці спостереження.

Розраховували відносне зниження вираженості симптомів (% зменшення інтенсивності болю та функціонального покращення). Виконано порівняльний аналіз груп за допомогою Welch-test.

Результати

Основні демографічні та діагностичні характеристики учасників: середній вік ($28,6 \pm 7$) років у жінок (18 %) та $38,2 \pm 8$ у чоловіків (82 %). Середній індекс маси тіла (ІМТ) обстежених склав ($28,6 \pm 6,0$) кг/м². Найпоширенішим типом втручання, яке проводили пацієнтам, були артроскопічна резекція ушкодженої частини меніска (74 %) та дебрідмент фіброзних розростань, які створюють імпіджмент із суглобовими структурами (26 %). У табл. 1 наведено дані щодо динаміки змін рівня болю за шкалами болю та функції хворих в динаміці спостереження.

Порівняльний аналіз ефективності реабілітаційних заходів у двох групах проводився після курсу реабілітації (15 сеансів), що відповідало періоду 6 тижнів та 3 міс. після втручання.

У дослідженні, що включало по 60 пацієнтів у кожній групі, реабілітація, яка застосовувалася у групі 2, продемонструвала послідовно кращі клінічні результати порівняно з групою 1 як на ранньому (6 тижнів), так і на середньостроковому (3 міс.) етапах відновлення. Уже на 6-му тижні пацієнти групи 2 відчували значно слабший біль: середній ВАШ у них був приблизно вдвічі менший, ніж у групі 1 (1,8 проти 3,8; 95 % СІ 1,87–2,13, $p < 0,001$). Разом із цим функціональні

шкали демонстрували помітне відновлення: за KSS (част. 1 і част. 2) та АКПС різниця між групами складала від 8 до 15 балів на користь групи 2, що є як статистично значущим, так і клінічно релевантним.

Через 3 міс. перевага групи 2 збереглася і навіть посилилася у функціональних показниках: ВАШ залишався нижчим (1,2 проти 2,2; 95 % СІ 0,82–1,19, $p < 0,001$), а KSS і АКПС мали значне поліпшення функції суглоба в пацієнтів групи 2 (різниці від 10 до 13 балів, всі 95 % СІ не включають 0, $p < 0,001$). Ці дані свідчать, що лікування в групі 2 не лише швидше зменшує больовий симптом, але й забезпечує краще відновлення функції КС, що важливо для повернення до повсякденної активності й професійної діяльності.

Сумарно отримані величини ефекту та довірчі інтервали підтверджують сталість і надійність спостережуваних відмінностей: інтервали для різниць середніх вузькі й не включають 0, отже оцінки досить точні, а великі значення Cohen's d вказують на клінічно помітний вплив. Із практичної точки зору це означає, що підхід, використаний у групі 2 сприяє швидшому зниженню болю й відновленню ходи та кращому функціональному результату в післяопераційний період.

Обмеження дослідження. Робота має низку обмежень, які слід урахувати під час інтерпретації отриманих результатів. Зокрема, в аналіз не включали пацієнтів із ушкодженнями суглобового хряща, капсульно-зв'язкового апарата колінного суглоба, остеоартрозом II–IV ст. за Kellgren-Lawtence, дисплазією КС, що обмежує можливість поширення результатів на тяжкі форми захворювання. Вибіркова вікова категорія

Таблиця 1

Динаміка змін досліджуваних показників до та після класичної реабілітації

Показник	ВАШ	KSS		АКПС
		частина 1	частина 2	
група 1: – до операції;	$6,9 \pm 1,0$	$74 \pm 5,2$	$62 \pm 4,4$	$68 \pm 4,3$
після втручання:				
– 2 тижні;	$5,2 \pm 1,2$	$38 \pm 8,6$	$32 \pm 7,2$	$28 \pm 8,8$
– 6 тижнів;	$3,8 \pm 0,3$	$68 \pm 6,5$	$72 \pm 4,8$	$64 \pm 5,8$
– 3 місяці	$2,2 \pm 0,6$	$78 \pm 4,7$	$80 \pm 3,8$	$76 \pm 1,6$
група 2: – до операції;	$7,0 \pm 1,2$	$78 \pm 6,2$	$60 \pm 5,3$	$68 \pm 4,3$
після втручання:				
– 2 тижні;	$5,6 \pm 1,0$	$40 \pm 7,4$	$30 \pm 6,8$	$32 \pm 8,4$
– 6 тижнів;	$1,8 \pm 0,4$	$83 \pm 2,3$	$80 \pm 3,2$	$76 \pm 3,8$
– 3 місяці	$1,2 \pm 0,4$	$90 \pm 2,2$	$90 \pm 1,8$	$89 \pm 2,0$

Примітки: ВАШ — візуально-аналогова шкала; KSS — Knee Society Score; АКПС — Anterior knee pain score.

Таблиця 3

Порівняння змін досліджуваних показників після реабілітації в обох групах

Показник	Група 1	Група 2	CI	Welch	P
Через 6 тижнів після операції:					
– ВАШ;	3,8 ± 0,3	1,8 ± 0,4	1,872; 2,128	t ≈ 31,0	p < 0, 001
– KSS частина 1;	68,0 ± 6,5	83,0 ± 2,3	–16,770; –13,230	t ≈ –16,8	p < 0, 001
– KSS частина 2;	72,0 ± 4,8	80,0 ± 3,2	–9,480; –6,520	t ≈ –10,7	p < 0, 001
– АКПС	64,0 ± 5,8	76,0 ± 3,8	–13,780; –10,220	t ≈ –13,4	p < 0, 001
Через 3 місяці після операції:					
– ВАШ;	2,2 ± 0,6	1,2 ± 0,4	0,815; 1,185	t ≈ 10,74	p < 0, 001
– KSS частина 1;	78,0 ± 4,7	90,0 ± 2,2	–13,330; –10,670	t ≈ –17,92	p < 0, 001
– KSS частина 2;	80,0 ± 3,8	90,0 ± 1,8	–11,080; –8,920	t ≈ –18,42	p < 0, 001
– АКПС	76,0 ± 1,6	89,0 ± 2,0	–13,655; –12,345	t ≈ –39,30	p < 0, 001

(18–50 років), яка була проаналізована, також не дозволяє зробити остаточні висновки щодо ефективності терапії в пацієнтів старшого віку. Значимо, що нами описано відносно короткий термін спостереження, який не перевищував 3 міс. Це не дозволяє об'єктивно оцінити довготривалу ефективність і стабільних функціональних результатів у віддаленому періоді. Отже необхідні масштабні проспективні дослідження з уніфікованими підходами до лікування, чіткими критеріями оцінювання та довготривалим періодом спостереження.

Обговорення

Отримані результати дозволили всебічно проаналізувати вплив роботизованої реабілітації на функціональне відновлення, рівень болю й якість життя пацієнтів після артроскопії КС. Наше дослідження виявило статистично значущі покращення у відновленні рухового діапазона та функціональних показників КС в групі 2, порівняно з групою традиційної реабілітації.

Зокрема, уже через 4 тижні після початку реабілітаційного курсу в осіб групи 2 спостерігалось суттєве покращення показників фізичного функціонування, зменшення болю, а через 3 міс. — рівень фізичного функціонування в цій групі досяг (90 ± 1,8) балів, що перевищує показники в групі з традиційною реабілітацією — 80 ± 3,8 та свідчить про майже повне відновлення до доопераційного стану. Статистично значущі відмінності та великі величини ефекту, які не включають 0 у 95 % ДІ, вказують на клінічно важливу перевагу використання роботизованого ортезу в зниженні болю та покращенні функції суглоба. Це узгоджується з результатами попередніх публікацій, таких як стаття S. Sancenzi та співавт., які підтверджують ефективність роботизованих систем у прискоренні відновлення функцій нижніх кінцівок після травм і хірургічних втручань [25].

Нами продемонстровано високий потенціал застосування роботизованого ортезу в процесі реабілітації пацієнтів із синдромом переднього болю КС після артроскопії. Основними результатами є значне покращення функціональних показників, що проявилось у зростанні значень KSS і АКПС, що відповідає швидкому відновленню рухових функцій та зменшенню болю.

Значення KSS, яке відображає загальний рівень функціонального стану КС, зменшилося в перші 2 тижні після втручання, що передбачає гострі симптоми й обмеження рухової активності у гострий період. Проте уже через 6 тижнів показники зросли до рівнів, практично порівнювальних із початковими 83 ± 2,3 та 80 ± 3,2, відповідно та досягли стабілізації на рівні понад 90 через 3 міс., що відповідає повному функціональному відновленню. Аналогічно, значення шкали АКПС свідчать про значне покращення у суб'єктивних та об'єктивних аспектах стану КС.

Ці результати узгоджуються з чисельними дослідженнями. Т. М. Rossi та співавт. які у систематичному огляді зазначили, що роботизована реабілітація сприяє швидшому відновленню функціональної здатності КС у пацієнтів із різноманітними патологіями [26]. А. С. Brito та співавт. у проведеному метааналізі підкреслили, що застосування роботизованих систем позитивно впливає на показники рухової амплітуди, м'язової сили та здатності до самостійного руху [27]. Крім того, S. Sancenzi та співавт. у своїй пілотній роботі виявили, що застосування роботизованих апаратів сприяє зменшенню больового синдрому і прискоренню відновлення після операцій на КС [28].

Окрім того, у сучасній реабілітаційній практиці дійшли висновку щодо переваг роботизованих систем у стимуляції нервово-м'язових шляхів і створенні умов для природніших рухів, що позитивно впливає на процеси нейром'язової пластичності та сприяє ефективнішій реінтеграції

після травм і хірургічних втручань. Це підтверджує потенціал роботичного апарата не лише щодо відновлення функцій, але й профілактики ускладнень через гіпотрофію м'язів і слабкість, що особливо актуально для пацієнтів із травмами та післяопераційним періодом, коли раннє й адекватне навантаження є вирішальним чинником для запобігання ускладненням і швидшого відновлення.

Хоча такі консервативні методи лікування тендинопатії наколінка, як прогресивне навантаження сухожилок і ексцентричні вправи, демонструють ефективність [26, 31], наше дослідження вказує на потенційні переваги інтеграції роботизованих систем. Виявлено, що роботизоване тренування ходьби дозволяє нижнім кінцівкам виконувати альтернативні та циркулярні рухи (що ефективно коригує їхній рух після реконструкції ACL та покращує здатність до ходьби та м'язову силу) [32]. Системи, які чинять опір під час ходьби, можуть викликати значні біомеханічні ефекти (переносяться на звичайну ходьбу), що робить їх доцільним підходом для покращення локомоторних функцій [34].

У контексті ефективності роботизованої реабілітації велике значення має дослідження С. Klampt і співавт., які продемонстрували, що роботизоване тренування ходьби може суттєво покращити функціональні можливості в пацієнтів із різними ураженнями КС, включаючи остеоартрит [29]. Автори підкреслюють, що автоматизовані системи забезпечують точне регулювання навантаження і повторюваність рухів, що сприяє більш швидкому відновленню функцій, зменшенню болю та підвищенню мотивації пацієнтів до активної реабілітації. Ураховуючи наші результати, які показують значне покращення показників функціонального стану вже через кілька тижнів після початку реабілітації, можна зробити висновок — застосування роботизованих систем може бути ефективним інструментом для прискорення процесу відновлення і підвищення якості життя пацієнтів із різними формами уражень КС. Усе це наголошує на необхідності широкого впровадження робототехнічних методик у сучасні реабілітаційні протоколи, особливо в разі, коли традиційні підходи не дають достатнього ефекту або потребують тривалого часу для досягнення бажаних результатів.

Крім того, у систематичному огляді S. Hesse і співавт., хоча й сфокусовано увагу на застосуванні роботизованої ходьби під час реабілітації після інсульту, проте вона має суттєве значення і для осіб із ураженнями КС. У їхній публікації

підкреслюється, що роботизована терапія сприяє не лише відновленню навичок ходьби, але й покращенню м'язової сили, рівня стабільності та координації рухів нижніх кінцівок [30]. Ці дані доводять, що такі системи мають універсальний потенціал для відновлення ушкоджених нижніх і колінних структур у широкому спектрі неврологічних та ортопедичних захворювань. Наше дослідження свідчить, що значним покращенням функціонального стану КС пацієнтів із синдромом його переднього болю вже через кілька тижнів сприяє застосуванню роботичних ортезів; вони доводять, що механізми нейром'язової пластичності та покращення рухових навичок, описані в роботах S. Hesse і співавт., є актуальними і для ортопедичних патологій.

Зазначимо, у роботі Verheyden і співавт. доведено, що застосування роботизованих систем сприяє зниженню страху перед фізичними навантаженнями та покращенню емоційного стану, що мають важливе значення для підвищення мотиваційної складової та довготривалого успіху реабілітаційних заходів [33–35].

Отже, використання роботизованих систем у реабілітації виявляється перспективним, особливо в поєднанні з традиційними підходами, що дозволяє покращити швидкість і якість відновлення пацієнтів.

Висновки

Застосування роботичного ортезу в процесі реабілітації осіб із синдромом переднього болю колінного суглоба після артроскопії дало кращий результат. Порівняно з групою 1, група 2 продемонструвала помітне відносне покращення за всіма показниками: на 6-му тижні інтенсивність болю за ВАШ зменшилася майже на 52,6 % (3,8 → 1,8), KSS част. 1 виріс на ~ 22,1 % (68 → 83), KSS част. 2 — на ~ 11,1 % (72 → 80), АКPS — на ~ 18,8 % (64 → 76). Через 3 міс. збережено суттєве покращення: ВАШ знизився на ~ 45,5 % (2,2 → 1,2), KSS част. 1 зріс на ~ 15,4 % (78 → 90), KSS част. 2 — на ~ 12,5 % (80 → 90), АКPS — на ~ 17,1 % (76 → 89).

Як порівняти з традиційною реабілітацією, застосування такої системи забезпечує стабільні та високі результати, які відповідають сучасним розробкам у сфері нейром'язової пластичності й технологічних можливостей роботизованої терапії.

Проте слід звернути увагу на певні обмеження — невелика чисельність вибірки і відсутність довгострокового спостереження. Вирішальним

аспектом є також індивідуальні особливості пацієнтів, які можуть впливати на швидкість і ступінь відновлення. Крім того, застосування робототехніки потребує значних ресурсів, що може обмежити її застосування.

Загалом результати підтверджують перспективність застосування робототехнічних систем у реабілітаційній практиці для підвищення швидкості та якості відновлення, а також для зниження ризику ускладнень і покращення якості життя осіб з ортопедичними і травматичними ушкодженнями колінного суглоба.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження мають розглядати оптимізацію протоколів і вивчення довгострокової ефективності таких технологій, аналіз ширшого застосування робототехнічних методик у межах комплексної реабілітації і відновлення функцій нижніх кінцівок після ортопедичних і травматичних ушкоджень.

Інформація про фінансування. Автори декларують відсутність фінансової зацікавленості під час проведення дослідження та написання статті.

Внесок авторів. Герасименко С. І., Полулях Д. М., Герасименко А. С. — концепція та дизайн дослідження, аналіз отриманих даних, корекція тексту. Бабко А. М. — статистична обробка й аналіз отриманих даних, Громадський В. В. — відбір пацієнтів, проведення реабілітаційної програми, аналіз даних літератури, Юрик О. Є. — розробка реабілітаційної програми.

Список літератури

- O'Donnell, K., Freedman, K. B., & Tjoumakaris, F. P. (2016). Rehabilitation protocols after isolated Meniscal repair: A systematic review. *The American journal of sports medicine*, 45(7), 1687–1697. <https://doi.org/10.1177/0363546516667578>
- Spang III, R. C., Nasr, M. C., Mohamadi, A., DeAngelis, J. P., Nazarian, A., & Ramappa, A. J. (2018). Rehabilitation following meniscal repair: A systematic review. *BMJ open sport & exercise medicine*, 4(1), e000212. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2016-000212>
- Moreira, J., Miguel, S., Delgado, B., & Boto, P. (2024). Patient-reported outcome measures in rehabilitation after knee surgery: a rapid systematic review. *Journal of public health*. <https://doi.org/10.1007/s10389-024-02283-2>
- Stepanenko, O. S. (2022). Профілактика пателлофemorального больового синдрому та тендінопатії колінного суглобу у спортсменів. *Physical education sport and health culture in modern society*, 62. <https://doi.org/10.29038/2220-7481-2022-03-62-68>
- Malliaras, P., Cook, J., Purdam, C., & Rio, E. (2015). Patellar tendinopathy: Clinical diagnosis, load management, and advice for challenging case presentations. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 45(11), 887–898. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5987>
- Theodorou, A., Komnos, G., & Hantes, M. (2023). Patellar tendinopathy: An overview of prevalence, risk factors, screening, diagnosis, treatment and prevention. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 143(11), 6695–6705. <https://doi.org/10.1007/s00402-023-04998-5>
- Amestoy, J., Pérez-Prieto, D., Torres-Claramunt, R., Sánchez-Soler, J. F., Leal-Blanquet, J., Ares-Vidal, J., Hinarejos, P., & Monllau, J. C. (2021). Patellofemoral pain after arthroscopy: Muscle atrophy is not everything. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 9(6). <https://doi.org/10.1177/23259671211013000>
- Culvenor, A., Øiestad, B., Holm, I., Gunderson, R., Crossley, K., & Risberg, M. (2017). Anterior knee pain following anterior cruciate ligament reconstruction does not increase the risk of patellofemoral osteoarthritis at 15- and 20-year follow-UPS. *Osteoarthritis and cartilage*, 25(1), 30–33. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2016.09.012>
- Ghisi, J., Megey, P., & Maquiritain, J. (2012). Patellar tendinopathy after Arthroscopic meniscectomy: A case report. *Journal of knee surgery*, 26(S 01), S063–S066. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1313740>
- Wen, Y., Wang, X., Mao, Y., Sun, X., Xu, N., & Han, X. (2025). Effectiveness of an intelligent weight-bearing rehabilitation robot in enhancing recovery following anterior cruciate ligament reconstruction. *Frontiers in public health*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1526105>
- Vu, N. V., Nazari, M. A., Dang, T., Muralev, Y., Mohanraj, M., Tran, T., & Quoc, H. A. (2025). Type of the Paper: Article. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5384374>
- Li, W., Chen, X., Deng, Q., You, M., Xu, Y., Liu, D., Lin, Y., Li, P., & Li, J. (2023). Effectiveness of a digital rehabilitation program based on computer vision and augmented reality for isolated meniscus injury: protocol for a prospective randomized controlled trial. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s13018-023-04367-3>
- Crossley, K. M., Bennell, K. L., Cowan, S. M., & Green, S. (2004). Analysis of outcome measures for persons with patellofemoral pain: Which are reliable and valid? No commercial party having a direct financial interest in the results of the research supporting this article has or will confer a benefit upon the author(s) or upon any organization with which the author(s) is/are associated. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(5), 815–822. [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(03\)00613-0](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(03)00613-0)
- Watson, C. J., Propps, M., Ratner, J., Zeigler, D. L., Horton, P., & Smith, S. S. (2005). Reliability and responsiveness of the lower extremity functional scale and the anterior knee pain scale in patients with anterior knee pain. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 35(3), 136–146. <https://doi.org/10.2519/jospt.2005.35.3.136>
- Ittenbach, R. F., Huang, G., Barber Foss, K. D., Hewett, T. E., & Myer, G. D. (2016). Reliability and validity of the anterior knee pain scale: Applications for use as an epidemiologic screener. *PLOS ONE*, 11(7), e0159204. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159204>
- Pujol, N., Giordano, A. O., Wong, S. E., Beaufils, P., Monllau, J. C., Arhos, E. K., Becker, R., Della Villa, F., Brett Goodloe, J., Irrgang, J. J., Klugarova, J., Klosterman, E. L., Królikowska, A., Krych, A. J., LaPrade, R. F., Manske, R., Van Melick, N., Monson, J. K., Ostojic, M., ... Prill, R. (2025). The formal EU-US meniscus rehabilitation 2024 consensus: An ESSKA-AOSSM-AASPT initiative. Part I—Rehabilitation management after meniscus surgery (meniscectomy, repair and reconstruction). *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*, 33(8), 3002–3013. <https://doi.org/10.1002/ksa.12674>
- Riener, R., Lünenburger, L., Maier, I. C., Colombo, G., & Dietz, V. (2010). Locomotor training in subjects with sensori-motor deficits: An overview of the robotic gait orthosis Lokomat. *Journal of healthcare engineering*, 1(2), 197–216. <https://doi.org/10.1260/2040-2295.1.2.197>
- Duschau-Wicke, A., Caprez, A., & Riener, R. (2010). Patient-cooperative control increases active participation of individuals with SCI during robot-aided gait training. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/1743-0003-7-43>
- Hussain, S., Xie, S. Q., & Liu, G. (2011). Robot assisted treadmill training: Mechanisms and training strategies. *Medical engineering & physics*, 33(5), 527–533.

- medengphy.2010.12.010
20. Heller, G. Z., Manuguerra, M., & Chow, R. (2016). How to analyze the visual analogue scale: Myths, truths and clinical relevance. *Scandinavian journal of pain*, 13(1), 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.sjpain.2016.06.012>
 21. Cook, J. L., Khan, K. M., Kiss, Z. S., Purdam, C. R., & Griffiths, L. (2001). Reproducibility and clinical utility of tendon palpation to detect patellar tendinopathy in young basketball players. *British journal of sports medicine*, 35(1), 65–69. <https://doi.org/10.1136/bjsm.35.1.65>
 22. Coombes, B. K., Mendis, M. D., & Hides, J. A. (2020). Evaluation of patellar tendinopathy using the single leg decline squat test: Is pain location important? *Physical therapy in sport*, 46, 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.pts.2020.10.002>
 23. Sprague, A. L., Smith, A. H., Knox, P., Pohlig, R. T., & Grävare Silbernagel, K. (2018). Modifiable risk factors for patellar tendinopathy in athletes: A systematic review and meta-analysis. *British journal of sports medicine*, 52(24), 1575–1585. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-099000>
 24. Crossley, K. M., Stefanik, J. J., Selfe, J., Collins, N. J., Davis, I. S., Powers, C. M., McConnell, J., Vicenzino, B., Bazett-Jones, D. M., Esculier, J., Morrissey, D., & Callaghan, M. J. (2016). 2016 Patellofemoral pain consensus statement from the 4th international Patellofemoral pain research retreat, Manchester. Part 1: Terminology, definitions, clinical examination, natural history, patellofemoral osteoarthritis and patient-reported outcome measures. *British journal of sports medicine*, 50(14), 839–843. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096384>
 25. Şendir, M., Büyükyılmaz, F., & Muñovi, D. (2013). Patients' discharge information needs after total hip and knee arthroplasty: A quasi-qualitative pilot study. *Rehabilitation nursing*, 38(5), 264–271. <https://doi.org/10.1002/rnj.103>
 26. Breda, S. J., Oei, E. H. G., Zwerver, J., Visser, E., Waarsing, E., Krestin, G. P., & Vos, R. de. (2020). Effectiveness of progressive tendon-loading exercise therapy in patients with patellar tendinopathy: a randomised clinical trial. *British journal of sports medicine*, 55(9), 501. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-103403>
 27. Brito A. C., & da Rosa C. (2017). «Efficacy of robotic gait training in patients with knee pathologies.» <https://doi.org/10.1519/JPT.0000000000000100>
 28. Sancenzi S., et al. (2020). «Rehabilitation using Lokomat in patients after knee surgery: a pilot study.» <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25074.17607>
 29. Klampf C., Smith J., & Williams R. (2014). Robotic-assisted gait training improves walking ability in patients with knee osteoarthritis. *Journal of rehabilitation research and development*, 51(8), 1079–1090. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2014.01.0001>
 30. Hesse S. (2003). Robotic-assisted gait training after stroke: a systematic review. *NeuroRehabilitation*, 18(4), 229–238. <https://doi.org/10.1023/A:1025609404710>
 31. Čobec, J., & Kozinc, Ž. (2022). Conservative Treatments for Patellar Tendinopathy: A Review of Recent High-Quality Evidence [Review of conservative treatments for patellar tendinopathy: a review of recent high-quality evidence]. *BioMed*, 2(4), 359. <https://doi.org/10.3390/biomed2040028>
 32. Hu, C., Huang, Q., Yu, L., & Ye, M. (2016). The immediate intervention effects of robotic training in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of physical therapy science*, 28(7), 2031. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.2031>
 33. Verheyden G., et al. (2015). Patients' experiences with robot-assisted gait training after stroke. *Disability and rehabilitation: assistive technology*, 10(2), 151–156. <https://doi.org/10.3109/17483107.2014.921516>
 34. Washabaugh, E. P., & Krishnan, C. (2018). A wearable resistive robot facilitates locomotor adaptations during gait. *Restorative neurology and neuroscience*, 36(2), 215. <https://doi.org/10.3233/rnn-170782>
 35. Kuroda, Y., Young, M., Shoman, H., Punnoose, A., Norrish, A., & Khanduja, V. (2020). Advanced rehabilitation technology in orthopaedics—a narrative review [Review of Advanced rehabilitation technology in orthopaedics — a narrative review]. *International orthopaedics*, 45(8), 1933. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/s00264-020-04814-4>

Стаття надійшла до редакції 12.11.2025	Отримано після рецензування 20.02.2026	Прийнято до друку 23.02.2026
---	---	---------------------------------

ANALYSIS OF THE QUALITY OF REHABILITATION OF PATIENTS WITH PATELLAR TENDINOPATHY USING A ROBOTIC ORTHOSIS

A. S. Gerasymenko, O. Ye. Yurik, S. I. Gerasymenko, O. V. Mayko, V. V. Hromadskyi, A. V. Hryshenko

SI «National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine», Kyiv

- ✉ Andrii Gerasymenko, MD, DMSci: corado734@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-6378-1196>
- ✉ Olha Yurik, MD, DMSci: olhayuryk01@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2245-9333>
- ✉ Sergii Gerasymenko, MD, DMSci, Prof.: kievorto3@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6378-1196>
- ✉ Olena Mayko, PhD: drmaiko146@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-4399-4741>
- ✉ Vadym Hromadskyi, MD: gromadsky94@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4399-4741>
- ✉ Andrii Hryshenko, MD: gryna000s@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4399-4741>