

ДЕРЖАВНА УСТАНОВА  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ ТРАВМАТОЛОГІЇ ТА ОРТОПЕДІЇ  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ»

Кваліфікаційна наукова праця

на правах рукопису

ГРОМАДСЬКИЙ ВАДИМ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

УДК 616.728.3-089.819-06:616.75-008.9-036.82

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**Відновне лікування пацієнтів із тендинопатією власної  
зв'язки наколінка після артроскопічної резекції меніска  
колінного суглоба**

222 «медицина»

22 Охорона здоров'я

Подается на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD)

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ В.В. Громадський

Науковий керівник: доктор медичних наук Герасименко Андрій Сергійович  
Доктор медичних наук Юрик Ольга Єфремівна

## АНОТАЦІЯ

**Громадський В. В.** Відновне лікування пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка після артроскопічної резекції меніска колінного суглоба. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 14.01.21 «Травматологія та ортопедія». Державна установа «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України», Київ, 2026.

Дисертація присвячена вирішенню актуального наукового завдання сучасної травматології та ортопедії – підвищенню ефективності відновного лікування пацієнтів, у яких після артроскопічної резекції меніска колінного суглоба розвивається тендинопатія власної зв'язки наколінка (ТН). Незважаючи на малоінвазивний характер артроскопічних втручань, у частини пацієнтів у післяопераційному періоді формується стійкий больовий синдром у передньому відділі коліна, що супроводжується функціональними обмеженнями, зниженням сили м'язів та погіршенням якості життя. Питання клінічного перебігу, функціональних наслідків та оптимальної тактики фізичної терапії при даній патології залишаються недостатньо вивченими.

**Мета дослідження** – Покращити результати відновного лікування пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінника після артроскопічної резекції меніска колінного суглоба шляхом комплексної клініко-функціональної оцінки патології та розробки програми фізичної терапії, як складової реабілітації, із застосуванням роботизованого ортеза (РО).

**Об'єкт дослідження** – структурні та функціональні зміни стану колінного суглоба у пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка після артроскопічної резекції меніска.

**Предмет дослідження** – клінічні прояви, функціональний стан колінного суглоба, ультразвукові характеристики тканини власної зв'язки наколінка, особливості вегетативної нервової регуляції, зміни сили м'язів нижньої кінцівки та ефективність комплексного відновного лікування із застосуванням роботизованого ортеза.

Дослідження виконано на базі відділу захворювань суглобів у дорослих ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України». До дослідження включено 120 пацієнтів (76 чоловіків, 44 жінки; середній вік  $38,1 \pm 7,8$  року; середній ІМТ  $28,5 \pm 5,9$  кг/м<sup>2</sup>), відібраних серед 524 обстежених після артроскопічної резекції меніска при виявленні ранніх проявів ТН на 14-й день після операції. Пацієнтів розподілено на дві групи по 60 осіб. Основна група отримувала стандартну фізичну терапію з додатковим курсом на РО Locomat; контрольна група – лікування за протоколом EU-US Meniscus Rehabilitation 2024 Consensus. Застосовано клінічні, ультразвукові, функціональні (ВАШ, АКPS, шкала Lysholm), динамометричні, вегетативні та біомеханічні методи дослідження; статистичну обробку виконано з використанням критеріїв Манна–Уїтні, Фрідмана,  $\chi^2$ , точного критерію Фішера та кореляції Спірмена.

Встановлено, що ТН характеризується полісимптомним перебігом: болючість при присіданні на оперованій кінцівці – 96,7%, біль при максимальному стрибку або зниження його висоти – 90,8%, симптом «кінотеатру» – 90,0%, фокальна болючість у нижньому відділі зв'язки – 85,8%, дифузна болючість уздовж зв'язки – 85,0%, біль при навантаженні або після стрибків – 84,2%, болючість при опорі розгинанню – 81,7%; у 76,7% пацієнтів одночасно визначали 6–7 позитивних симптомів. За даними УЗД у більшості випадків реєстрували комбіновані структурні зміни: зміну контурів зв'язки (89,2%), зниження ехогенності (85,8%), підвищення васкуляризації (85,0%); збільшення товщини – у 57,5%. Встановлено статистично значущий зв'язок між болем при стрибку та зниженням ехогенності зв'язки. Біомеханічне моделювання показало, що гіпотрофія квадрицепса призводить до латералізації контактної зони в пателофеморальному суглобі, зростання пікових напружень у зв'язці (до 6,8–11,6 МПа залежно від кута згинання) та формування ексцентричних моментів, що підтверджує патогенетичне значення м'язового дисбалансу.

Застосування РО забезпечило достовірно кращі результати відновного лікування порівняно зі стандартною програмою. Через 12 тижнів медіана ВАШ в основній групі становила 1 (0–1) бал проти 2 (2–3) балів у контрольній;

AKPS – 89,5 (89–90) проти 76 (76–76) балів; шкала Lysholm – 90 (84–91) проти 84 (76–85) балів. Приріст AKPS від 14-го дня до 12-го тижня становив 171,2% в основній групі та 137,5% у контрольній. Сила м'язів-розгиначів в основній групі через 3 місяці відновилася до доопераційного рівня (76,0 Н·м), тоді як у контрольній залишалася на 6,5% нижчою (72,0 Н·м). Нормалізацію вегетативного балансу (ейтонія, ритмограма І класу) через 12 тижнів зафіксовано у 90,0% пацієнтів основної групи проти 63,3% контрольної. Вік пацієнтів більшою мірою асоціювався з функціональними показниками, тоді як ІМТ – з інтенсивністю больового синдрому; однак у всіх підгрупах основна група демонструвала кращу динаміку, що підтверджує самостійний клінічний ефект запропонованої програми.

Розроблена програма відновного лікування із застосуванням роботизованого ортеза є патогенетично обґрунтованою та клінічно ефективною. Її впровадження забезпечує більш швидке зменшення больового синдрому, повніше відновлення функції колінного суглоба, нормалізацію сили м'язів-розгиначів та вегетативної регуляції. Програму рекомендовано до ширшого застосування в практиці післяопераційної фізичної терапії пацієнтів після артроскопічних втручань на колінному суглобі.

**Ключові слова:** тендинопатія власної зв'язки наколінка, колінний суглоб, артроскопія, резекція меніска, роботизована фізична терапія, роботизований ортез, функціональне відновлення, лікування, вегетативна регуляція, діагностика, реабілітація, біомеханічні дослідження

## ABSTRACT

**Hromadskyi V. V.** Rehabilitative treatment of patients with patellar ligament tendinopathy following arthroscopic meniscus resection of the knee joint. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, specialty 14.01.21 "Traumatology and Orthopedics." State Institution "National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine," Kyiv, 2026.

The dissertation addresses a pressing scientific challenge in modern traumatology and orthopedics: improving the outcomes of rehabilitative treatment in patients who develop patellar ligament tendinopathy (PT) following arthroscopic meniscus resection of the knee joint. Despite the minimally invasive nature of arthroscopic partial meniscectomy, a proportion of patients experience persistent anterior knee pain in the postoperative period, accompanied by functional limitations, reduced load tolerance, decreased muscle strength, and impaired quality of life. The clinical course, functional consequences, and optimal rehabilitation strategy for this patient category remain insufficiently studied, and no standardized management approach has been established.

**The aim of the study** was to improve the outcomes of rehabilitative treatment in patients with patellar ligament tendinopathy following arthroscopic meniscus resection of the knee joint through comprehensive clinical and functional assessment of the pathology and the development of a rehabilitation program using a robotic orthosis.

**The object of the study** was the restoration of the functional state of the knee joint in patients with patellar ligament tendinopathy following arthroscopic meniscus resection.

**The subject of the study** comprised the clinical manifestations, functional state of the knee joint, ultrasound characteristics of the patellar ligament tissue, features of autonomic nervous regulation, changes in lower limb muscle strength, and the effectiveness of comprehensive rehabilitative treatment using a robotic orthosis.

The study was conducted at the Department of Adult Joint Diseases of the State Institution "National Institute of Traumatology and Orthopedics of the NAMS of Ukraine." A total of 120 patients (76 men, 44 women; mean age  $38.1 \pm 7.8$  years; mean

BMI  $28.5 \pm 5.9$  kg/m<sup>2</sup>) were selected from 524 patients following arthroscopic meniscus resection upon identification of early PT manifestations on postoperative day 14, and were divided into two groups of 60. The main group received standard rehabilitation supplemented by a structured Locomat RO course; the control group followed the EU-US Meniscus Rehabilitation 2024 Consensus protocol. Clinical, ultrasound, functional (VAS, AKPS, Lysholm), dynamometric, autonomic, and biomechanical examination methods were applied. Statistical analysis was performed using Mann–Whitney, Friedman ANOVA, chi-square, Fisher's exact test, and Spearman correlation.

PT was found to follow a multisymptomatic course combining local pain and pronounced load-dependent manifestations. The most frequent signs were pain on squatting on the operated limb (96.7%), pain on maximal vertical jump or reduced jump height (90.8%), the "cinema sign" (90.0%), focal tenderness at the inferior patellar ligament (85.8%), diffuse tenderness along the ligament (85.0%), load-related pain or aggravation after jumping (84.2%), and pain on resisted knee extension (81.7%). In 76.7% of patients, six or seven positive symptoms were detected simultaneously, indicating a complex and multifaceted clinical presentation. Ultrasound examination confirmed the structural nature of the pathology: altered ligament contours were found in 89.2% of patients, decreased echogenicity in 85.8%, increased vascularization in 85.0%, and increased ligament thickness compared to the contralateral side in 57.5%. Combined ultrasound changes – three or four pathological signs simultaneously – were recorded in 85.9% of patients, and a statistically significant association was established between pain on maximal jump and decreased ligament echogenicity. Biomechanical modeling demonstrated that quadriceps atrophy leads to pathological load redistribution in the patellofemoral joint, lateralization of the contact zone, elevated peak stresses in the ligament (up to 6.8–11.6 MPa depending on flexion angle), and formation of eccentric moments, confirming the pathogenetic role of muscle imbalance in the development and persistence of PT.

Use of the RO yielded significantly superior rehabilitation outcomes compared to conventional treatment. At 12 weeks postoperatively, the median VAS score in the

main group was 1 (0–1) vs. 2 (2–3) points; AKPS – 89.5 (89–90) vs. 76 (76–76) points; Lysholm – 90 (84–91) vs. 84 (76–85) points. The gain in AKPS score from day 14 to week 12 was 171.2% in the main group versus 137.5% in the control. Extensor muscle strength in the main group recovered to preoperative levels by 3 months (76.0 N·m), while in the control group it remained 6.5% below baseline (72.0 N·m). Autonomic balance normalization (eutonia, Class I rhythmogram) at 12 weeks was observed in 90.0% of the main group versus 63.3% of controls. Patient age was more strongly associated with functional outcomes, whereas BMI showed a more consistent influence on pain intensity; however, the robotic rehabilitation group demonstrated better dynamics across all subgroups, confirming the independent clinical effect of the proposed program.

The developed rehabilitation program using a robotic orthosis is pathogenetically grounded and clinically effective. Its implementation ensures more rapid reduction of pain, more complete functional recovery of the knee joint, normalization of extensor muscle strength, and restoration of autonomic regulation. The program is recommended for broader implementation in postoperative rehabilitation following arthroscopic knee surgery.

**Keywords:** patellar tendinopathy, knee joint, arthroscopy, meniscus resection, robotic physical therapy, robotic orthosis, functional recovery, treatment, autonomic regulation, diagnostics, rehabilitation, biomechanical studies.

## СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації*

1. С.І. Герасименко; А.С. Герасименко; О.Є. Юрик; А.М. Бабко; Д.М. Полулях; В.В. Громадський. Тендинопатія наколінка після проведення артроскопічної резекції меніска за синдрому «переднього болю» колінного суглоба. Ортопедія, травматологія та ендопротезування. 2025; (3), 75–83. DOI: [10.15674/0030-59872025375-83](https://doi.org/10.15674/0030-59872025375-83)
2. С.І. Герасименко; А.С. Герасименко; О.Є. Юрик; А.М. Бабко; М.В. Полулях; В.В. Громадський. Реабілітація пацієнтів із синдромом переднього болю колінного суглоба після артроскопії за допомогою роботичних ортезів: клінічна ефективність приладу Locomat Pro. Біль, суглоби та хребет. 2025; 15(3), 141–148. DOI: [10.22141/pjs.15.3.2025.473](https://doi.org/10.22141/pjs.15.3.2025.473)
3. С.І. Герасименко; І.В. Гужевський; А.С. Герасименко; А.М. Бабко; Д.М. Полулях; Д.С. Ярош; В.В. Громадський. Особливості перебігу післяопераційного періоду у військовослужбовців при небойових ушкодженнях хряща та менісків колінного суглоба. Травма. 2025; 26(5), 275–282. DOI: [10.22141/1608-1706.5.26.2025.1039](https://doi.org/10.22141/1608-1706.5.26.2025.1039)
4. С.І. Герасименко; А.С. Герасименко; О.Є. Юрик; О.В. Майко; В.В. Громадський; А.В. Грищенко. Аналіз якості реабілітації пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка за допомогою роботичного ортезу. Ортопедія, травматологія та протезування. 2026; 76-84. DOI: [10.15674/0030-59872026176-84](https://doi.org/10.15674/0030-59872026176-84)
5. С.І. Герасименко; А.С. Герасименко; О.Є. Юрик; А.М. Бабко; Д.М. Полулях; В.В. Громадський; Поліщук О.В. Біомеханічні передумови тендинопатії власної зв'язки надколінка після артроскопії колінного суглоба. Травма. 2026; 27(2), 159–169. DOI: [10.22141/1608-1706.2.27.2026.1080](https://doi.org/10.22141/1608-1706.2.27.2026.1080)



## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОСИЛАНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	12
ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1 .....	19
СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ВІДНОВНОГО ЛІКУВАННЯ ПАЦІЄНТІВ ІЗ ТЕНДИНОПАТІЄЮ НАКОЛІНКА ПІСЛЯ АРТРОСКОПІЧНОЇ РЕЗЕКЦІЇ МЕНІСКА КОЛІННОГО СУГЛОБА (АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ). .....	19
РОЗДІЛ 2 .....	28
МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	28
1.1 Дизайн дослідження.....	28
1.2. Характеристика клінічних груп.....	29
1.3. Методи обстеження пацієнтів .....	32
1.3.1. Клінічні методи обстеження.....	32
1.3.2. Оцінка больового синдрому та функціонального стану за стандартизованими шкалами .....	34
1.3.3. Ультразвукове дослідження ВЗН .....	35
1.3.5. Оцінка сили м'язів нижньої кінцівки.....	36
1.3.6. Біомеханічні методи дослідження.....	36
1.3.6. Оцінка вегетативної нервової регуляції.....	40
1.3.7. Оцінка результатів дослідження .....	43
РОЗДІЛ 3 .....	45
РЕЗУЛЬТАТИ КЛІНІКО-ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	45
2.1. Клінічне обстеження пацієнтів.....	45
2.2. Результати ультразвукового обстеження ВЗН .....	46
2.3. Дослідження сили м'язів .....	49
2.4. Дослідження вегетативних змін нижньої кінцівки .....	53
РОЗДІЛ 4 .....	57
РЕЗУЛЬТАТИ БІОМЕХАНІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	57
3.2. Біомеханічне моделювання при куті згинання 60° .....	58

3.3. Біомеханічне моделювання при куті згинання 90° .....	60
3.7. Порівняльний аналіз показників у досліджуваних групах .....	69
3.7. Висновки біомеханічного моделювання.....	70
РОЗДІЛ 5 .....	72
МЕТОДИКА ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ ПАЦІЄНТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РОБОТИЗОВАНОГО ОРТЕЗА .....	72
4.1. Характеристика роботизованої системи Локомат .....	72
4.2. Параметри налаштування роботизованого ортеза .....	73
4.3. Алгоритм застосування роботизованого ортеза .....	76
4.4. Програма фізичної терапії із застосуванням роботизованого ортеза .....	77
4.5. Протокол курсу локомоторної терапії (15 сеансів).....	78
РОЗДІЛ 6 .....	99
ВПЛИВ АНТРОПОМЕТРИЧНИХ ЧИННИКІВ ВІКУ ТА ІНДЕКСУ МАСИ ТІЛА НА ФУНКЦІОНАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ У ДОСЛІДЖУВАНИХ ГРУПАХ .....	99
5.1. Вплив віку на динаміку клініко-функціональних показників у досліджуваних групах .....	99
5.2. Вплив індексу маси тіла на динаміку клініко-функціональних показників у досліджуваних групах.....	103
РОЗДІЛ 7 .....	109
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РОБОТИЗОВАНОГО ОРТЕЗА .....	109
6.1. Динаміка больового синдрому .....	109
6.1.1. Внутрішньогрупова динаміка показників ВАШ у групі дослідження ..	109
6.1.2. Внутрішньогрупова динаміка показників ВАШ у групі порівняння ...	111
6.1.3. Порівняння показників ВАШ між групами .....	113
6.2. Динаміка функціонального стану колінного суглоба за АКPS .....	115
6.2.1. Внутрішньогрупова динаміка показників АКPS у групі дослідження	115
6.2.2. Внутрішньогрупова динаміка показників АКPS у групі порівняння ..	118
6.3. Динаміка функціонального стану колінного суглоба за Lysholm .....	123
6.3.1. Внутрішньогрупова динаміка показників за шкалою Lysholm в групі дослідження.....	124

6.3.2. Внутрішньогрупова динаміка показників за шкалою Lysholm в групі порівняння .....	126
6.3.3. Порівняння показників за шкалою Lysholm між групами .....	129
6.4. Узагальнення результатів оцінки ефективності фізичної терапії із застосуванням роботизованого ортеза .....	130
АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	132
ВИСНОВКИ .....	138
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ .....	141
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	143

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОСИЛАНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

AKPS	- Anterior knee pain scale
ВАШ	- Візуальна аналогова шкала
ІМТ	- Індекс маси тіла
ТН	- Тендинопатія власної зв'язки наколінка
КоС	- Колінний суглоб
РО	- Роботизований ортез
ЧМС	- Чотириголовий м'яз стегна
УЗД	- Ультразвукове дослідження
ВЗН	- Власна зв'язка наколінка
ВНР	- Вегетативна нервова регуляція
СМ	- Сила м'язів
ПСЗ	- Передня схрещена зв'язка
ЗСЗ	- Задня схрещена зв'язка
МКЗ	- Медіальна колатеральна зв'язка
ЛКЛ	- Латеральна колатеральна зв'язка
ДР	- Діапазон руху
КуС	- Кульшовий суглоб
СН	- Сила наведення
ПМТ	- Підтримка маси тіла

## **ВСТУП**

### **Обґрунтування теми дослідження**

Тендинопатія власної зв'язки наколінка (ТН) є клінічно значущою патологією, що супроводжується больовим синдромом, зниженням функціональної здатності нижньої кінцівки та обмеженням фізичної активності пацієнтів. Актуальність проблеми зумовлена тривалим, часто рецидивним перебігом та суттєвим впливом на повсякденну, професійну і спортивну діяльність, особливо в осіб молодого та працездатного віку. За даними систематичного огляду та метааналізу, поширеність ТН серед спортивно активної популяції становить 18,3%, тоді як у загальній популяції цей показник не перевищує 0,1%. Найвищі показники виявлено у видах спорту з повторним стрибковим навантаженням — волейболі та баскетболі, що підтверджує провідну роль хронічного механічного перенавантаження у формуванні даної патології (Nutarelli et al. 2023).

Незважаючи на малоінвазивний характер артроскопічної резекції меніска, у 6–25% пацієнтів після оперативного втручання зберігається або формується стійкий больовий синдром у КоС, що супроводжується функціональними обмеженнями та погіршенням якості життя протягом 1–2 років після операції (Zaslav et al. 2022). Особливу клінічну значущість має біль у передньому відділі КоС, який асоціюється з гіпотрофією чотириголового м'яза стегна (ЧМС), зниженням його скоротливості та гіршими функціональними результатами лікування (Amestoy et al. 2021).

Питання розвитку ТН після артроскопічної резекції меніска залишається недостатньо вивченим: у доступній літературі переважають описи поодиноких клінічних випадків, тоді як дані щодо частоти, клінічного перебігу, діагностики та оптимальної тактики фізичної терапії, як складової реабілітації, при даному ускладненні є вкрай обмеженими (Maquirriain et al. 2013). Відсутність єдиного стандартизованого підходу до відновного лікування цієї категорії пацієнтів визначає актуальність і практичну значущість дослідження.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна ~~АМ~~робота виконана у відповідності з планом науково-дослідних

робіт ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України» і є фрагментом науково-дослідної роботи «Удосконалити систему відновного ортопедичного лікування небойових травматичних ушкоджень внутрішньосуглобових структур колінного суглоба у військовостужбовців» (номер державної реєстрації 0124U001051).

### **Мета дослідження.**

Покращити результати відновного лікування пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка після артроскопічної резекції меніска колінного суглоба шляхом комплексної клініко-функціональної оцінки патології та розробки програми фізичної терапії із застосуванням роботизованого ортеза.

### **Завдання дослідження.**

1. Визначити особливості клінічного перебігу тендинопатії власної зв'язки наколінка у пацієнтів після артроскопічної резекції меніска колінного суглоба.
2. Дослідити функціональний стан колінного суглоба та чотириголового м'язу стегна у пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка після артроскопії КоС, враховуючи сонографічні, вегетативні та силові зміни.
3. Визначити біомеханічні особливості функціонування колінного суглоба та власної зв'язки наколінка на основі математичного і тривимірного моделювання в нормі та в умовах гіпотрофії чотириголового м'язу стегна.
4. Розробити програму фізичної терапії пацієнтів при тендинопатії власної зв'язки наколінка із застосуванням роботизованого ортеза.
5. Оцінити ефективність розробленої технології за динамікою клінічних, функціональних, ультразвукових, вегетативних та силових показників.

### **Об'єкт дослідження.**

Відновлення функціонального стану колінного суглоба у пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка після артроскопічної резекції меніска.

**Предмет дослідження.**

Клінічні прояви, функціональний стан колінного суглоба, ультразвукові характеристики тканини власної зв'язки наколінка, особливості вегетативної нервової регуляції, зміни сили м'язів нижньої кінцівки та ефективність комплексного відновного лікування із застосуванням роботизованого ортеза.

**Матеріал та методи дослідження.**

Робота виконана на базі відділу захворювань суглобів у дорослих ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України» за період 2023–2026 років. Проведено аналіз результатів клініко-інструментального обстеження 120 пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка після артроскопічної резекції меніска.

Методи дослідження — клінічні, інструментальні (УЗД, ВНС-сперкт, Локомат), функціональні, біомеханічні та статистичні. Клінічні методи застосовували для аналізу скарг, анамнезу та оцінки локального статусу. Інструментальні методи включали ультразвукове дослідження власної зв'язки наколінка з метою виявлення структурних змін її тканини. Функціональні методи використовували для оцінки стану колінного суглоба за шкалами ВАШ, AKPS та Lysholm, визначення сили м'язів нижньої кінцівки та аналізу вегетативної нервової регуляції. Біомеханічні методи передбачали математичне та тривимірне моделювання колінного суглоба і власної зв'язки наколінка в нормі та в умовах гіпотрофії чотириголового м'яза стегна. Статистичну обробку результатів виконано з використанням програмного забезпечення Statistica 10.0 із застосуванням критеріїв Манна–Уїтні, Фрідмана,  $\chi^2$ , точного критерію Фішера та рангової кореляції Спірмена.

**Наукова новизна.**

1. Вперше комплексно визначено клінічні прояви, ультразвукові характеристики тканини власної зв'язки наколінка, зміни сили м'язів нижньої кінцівки та особливості вегетативної нервової регуляції у пацієнтів із ТН після артроскопічної резекції меніска КоС.

2. Набули подальшого розвитку наукові уявлення про біомеханічні особливості функціонування колінного суглоба та власної зв'язки наколінка: за допомогою математичного і тривимірного моделювання встановлено механічні передумови розвитку тендинопатії в умовах гіпотрофії чотириголового м'яза стегна.
3. Набули подальшого розвитку наукові уявлення про особливості вегетативної регуляції у пацієнтів після проведення артроскопічних втручань на колінному суглобі.
4. Вперше проведено динамічний аналіз у силових показниках розгиначів колінного суглоба за допомогою роботизованого ортеза Локомат у пацієнтів із ТН після артроскопічної резекції меніска КоС.
5. Отримала подальший розвиток програма фізичної терапії із застосуванням роботизованого ортеза Локомат, а також впроваджені методичні рекомендації щодо його використання у фізичній терапії пацієнтів із ТН після артроскопічної резекції меніска КоС.

### **Практичне значення одержаних результатів.**

1. Результати дослідження розширюють можливості клінічної та функціональної оцінки пацієнтів із ТН після артроскопії КоС. Впроваджена програма фізичної терапії із застосуванням РО Локомат дозволяє підвищити ефективність відновного лікування цієї категорії хворих, забезпечуючи більш швидке зменшення больового синдрому, повніше відновлення функції колінного суглоба та нормалізацію сили м'язів і вегетативної регуляції.
2. Матеріали дослідження та розроблені методичні рекомендації можуть бути використані в практиці закладів охорони здоров'я, відділень фізичної терапії і центрів, а також у навчальному процесі при підготовці лікарів і фахівців з фізичної терапії.
3. Доведено ефективність запропонованої програми за динамікою клінічних, функціональних, ультразвукових, вегетативних та силових показників.



**Особистий внесок автора** полягає у самостійному визначенні завдань клініко-інструментальних досліджень, проведенні курсу фізичної терапії із використанням РО, вивченні й теоретичному узагальненні результатів проведених досліджень, обґрунтуванні висновків і практичних рекомендацій. Автор самостійно виконував обстеження хворих, оволодів методикою інструментальної діагностики та індивідуалізованої до пацієнта програми фізичної терапії на РО.

Участь здобувача в наукових статтях, опублікованих у співавторстві, - визначальна; вона полягала в бібліографічному пошуку, клінічних, інструментальних дослідженнях, хірургічних втручаннях, статистичній обробці, аналізі отриманих результатів та формулюванні висновків.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення роботи було викладено на:

1. Науково-практична конференція «Медицина в умовах воєнного часу: інноваційний пошук, доказова практика та мультидисциплінарні рішення», Київ (28.10.2025-30.10.2025);
2. Науково-практична конференція з міжнародною участю "Інноваційні технології в охороні здоров'я: досвід сьогодення і перспективи застосування у клінічній та профілактичній медицині", Україна/Франція (28.05.2025 - 29.05.2025);
3. "11-й Конгрес Європейської академії неврології", Хельсінки (21.06.2025 – 24.06.2025);
4. Науково-практична конференція "Слобожанська конференція з анестезіології та інтенсивної терапії", Харків (27.06.2025);
5. Тези до 25-го Світового неврологічного конгресу (WCN), Сеул (12.10.2025 – 15.10.2025).

**Публікація результатів дослідження.** За матеріалами дисертації опубліковано 5 наукових праць у наукових фахових виданнях, що наведені в переліку, затвердженому ДАК МОН України та включені до міжнародної науко-метричної бази даних: Web of Science, ULRICHSWEB, WorldCat,

NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE, NCBI, SCIDATA, getCITED, BASE, SIS, Journal TOCs, Index Copernicus International (IC), Cite Factor, ROAD, Research Bible, SciTitles (iCubica), Google Scholar, DRJI, Open Academic Journals Index, InnoSpace, MedLine, PubMed, IndexMedicus, SHERPA/RoMEO, NLM-catalog, Матеріали роботи висвітлені в збірниках наукових праць конференцій, у матеріалах конгресів, з'їздів.

**Структура та обсяг дисертації.** Робота викладена на 153 сторінках машинописного тексту, ілюстрована 35 таблицями та 39 рисунками і складається із вступу, семи розділів власних досліджень, аналізу та узагальнення результатів дослідження, висновків, практичних рекомендацій, списку використаних джерел.

Дисертаційна робота виконана у відділі захворювань суглобів у дорослих (керівник – д-р мед. наук, проф. С.І. Герасименко) ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України» (директор – д-р мед. наук, проф. Ю.В. Поляченко).

## РОЗДІЛ 1

### **СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ВІДНОВНОГО ЛІКУВАННЯ ПАЦІЄНТІВ ІЗ ТЕНДИНОПАТІЄЮ НАКОЛІНКА ПІСЛЯ АРТРОСКОПІЧНОЇ РЕЗЕКЦІЇ МЕНІСКА КОЛІННОГО СУГЛОБА (АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ).**

Тендинопатія на сучасному етапі розглядається як складний клініко-біологічний процес, в основі якого лежить взаємодія механічних, клітинних, матриксних, судинних, нейрогенних та запально-опосередкованих механізмів, що формують структурну дезорганізацію тканини, больовий синдром і зниження функції. Такий підхід замінив спрощену концепцію «тендиніт/тендиноз» і дозволив трактувати тендинопатію як динамічний патологічний процес із різними стадіями перебігу [1, 2, 3, 4].

Відповідно до моделі Cook і Purdam, патологія сухожилка розвивається поетапно і включає реактивну тендинопатію, стадію порушеного ремоделювання та дегенеративну тендинопатію. Реактивна стадія є відносно ранньою відповіддю тканини на гостре або надмірне навантаження і характеризується збільшенням вмісту протеогліканів, утриманням води та потовщенням тканини. За умов повторного перевантаження і недостатнього відновлення формуються прогресуюча дезорганізація колагенових волокон, зміни клітинного фенотипу та порушення архітекτονіки позаклітинного матриксу; у пізніх стадіях – ділянки дегенерації та зниження механічної спроможності тканини. При цьому клінічна картина не завжди прямо відповідає ступеню структурних змін, що має важливе діагностичне значення [5, 6].

Нормальна сухожильно-зв'язкова тканина характеризується домінуванням колагену I типу та наявністю теноцитів, які підтримують гомеостаз позаклітинного матриксу. При тендинопатії відбуваються дезорганізація і фрагментація колагенових волокон, зростання частки колагену III типу, накопичення глікозаміногліканів та дисбаланс між матриксними металопротеїназами і їх тканинними інгібіторами. Усе це призводить до патологічного ремоделювання, погіршення механічних властивостей тканини та схильності до хронізації процесу [7].

Суттєве місце в патофізіології тендинопатії займає запальна складова. Сучасні дані демонструють участь макрофагів, опасистих клітин, дендритних клітин, а також прозапальних цитокінів і сигнальних каскадів NF- $\kappa$ B, NLRP3, p38/MAPK і STAT3. Запальні сигнали не лише супроводжують ушкодження тканини, а й впливають на теноцити, ремоделювання матриксу, неоваскуляризацію та персистування симптомів. Тому в сучасному розумінні запалення і дегенерація є взаємопов'язаними і взаємопідтримуючими механізмами в межах хронічного патологічного процесу.

Окрему роль відіграють оксидативний стрес, апоптоз і нейрогенні механізми болю. У патологічно зміненій тканині підвищується утворення реактивних форм кисню, що ушкоджують клітини та матрикс. Описано також неоваскуляризацію та неоіннервацію, які пов'язані з формуванням і підтриманням хронічного больового синдрому. Важливим клінічним аспектом є те, що вираженість болю не завжди корелює зі ступенем структурних змін на візуалізації, що підтверджує багатокомпонентну природу ноцицепції при тендинопатії.

Таким чином, тендинопатія є багатофакторною патологією з послідовними порушеннями адаптації сухожильно-зв'язкової тканини до навантаження, дезорганізацією позаклітинного матриксу, а також клітинними, судинними, запальними й нейрогенними механізмами. Саме таке розуміння патофізіології тендинопатії формує теоретичне підґрунтя для комплексної оцінки клінічних проявів, структурних змін і вибору патогенетично обґрунтованих підходів до відновного лікування.

ТН є однією з клінічно значущих форм ураження сухожильно-зв'язкового апарату КоС, що супроводжується болем у передньому відділі КоС, зниженням функціональної здатності нижньої кінцівки та обмеженням фізичної активності. Найчастіше патологія асоціюється з повторним механічним навантаженням на розгинальний апарат: стрибками, бігом, присіданнями, різкими прискореннями і гальмуваннями. У зв'язку з цим у літературі її традиційно розглядають як

типовий варіант перевантажувального ураження КоС в осіб із високим рівнем рухової активності [8, 9].

Поширеність ТН в загальній популяції є невисокою (близько 0,1%), однак серед спортивно активних осіб вона значно зростає і досягає 18,3% за даними систематичного огляду та метааналізу. Найвищі показники виявляють у спортсменів із видів спорту зі значним стрибковим навантаженням — волейболу та баскетболу. Водночас патогенез патології не зводиться лише до обсягу навантаження: важливе значення мають індивідуальні анатомо-функціональні особливості, стан м'язового апарату, біомеханіка нижньої кінцівки та якість відновлення після навантаження [10].

Серед факторів ризику найчастіше виділяють підвищену масу тіла, зниження сили ЧМС, зменшення розтягнення ЧМС і м'язів задньої групи стегна, обмеження дорсальної флексії надп'яtkово-гомiлкового суглоба, а також анатомо-біомеханічні особливості – зміни склепіння стопи, різниця довжини нижніх кінцівок і порушення біомеханіки стрибка та приземлення. Окрему увагу дослідники приділяють порушенню м'язового балансу та рухового контролю, які змінюють розподіл навантаження на розгинальний апарат і створюють умови для хронічного перевантаження власної зв'язки наколінка [11, 12, 13, 14].

Клінічна картина характеризується локальним болем у ділянці нижнього полюса наколінка або по ходу проксимальної частини власної зв'язки наколінка з чітким зв'язком із механічним навантаженням. Типовим є посилення болю під час рухів, що потребують накопичення та вивільнення енергії в розгинальному апараті: стрибків, бігу, присідань, підйому та спуску сходами. У міру прогресування больовий синдром може виникати при менш інтенсивному навантаженні та обмежувати повсякденну активність [15, 16, 17].

Окрім болю, у пацієнтів спостерігаються зниження толерантності до фізичного навантаження, локальна болючість при пальпації проксимальної частини зв'язки або зони її прикріплення, а також зниження сили ЧМС, порушення координації рухів та компенсаторні зміни рухового патерну. Для

клінічного обстеження важливе значення мають провокаційні функціональні тести, які дозволяють відтворити симптоми і уточнити їх локалізацію.

Характерною рисою ТН є схильність до тривалого та рецидивного перебігу. Повне функціональне відновлення не завжди досягається у короткі терміни, що пояснюється повільністю регенерації сухожильно-зв'язкової тканини та участю супутніх м'язово-функціональних, біомеханічних і нейрофізіологічних порушень у формуванні клінічної картини. Це обґрунтовує необхідність комплексного підходу до діагностики й лікування з урахуванням не лише локального статусу, а й функціонального стану КоС та нижньої кінцівки в цілому.

Власна зв'язка наколінка (ВЗН) є складовою розгинального апарату КоС і забезпечує передачу сили від ЧМС до великогомілкової кістки. У процесі руху вона виконує роль силового провідника, бере участь у стабілізації наколінка, формуванні вектора розгинального зусилля та розподілі навантаження в пателофemorальному комплексі. Будь-які зміни м'язового балансу, кінематики наколінка або умов контакту в пателофemorальному суглобі можуть змінювати механічні умови функціонування ВЗН та створювати передумови для її перевантаження [18, 19, 20, 21].

Зі збільшенням кута згинання КоС змінюються як напрямок дії сухожильно-зв'язкових структур розгинального апарату, так і величина контактних сил у пателофemorальному суглобі. ВЗН характеризується високою жорсткістю в умовах функціонального навантаження та здатна передавати великі механічні зусилля при мінімальних змінах довжини. Одночасно зі збільшенням кута згинання зростає пателофemorальне контактне навантаження.

Функціональний стан ЧМС визначає не лише величину розгинального зусилля, а й просторовий вектор навантаження на наколінок. Слабкість квадрицепса, особливо його медіальної частини, може змінювати трекінг наколінка, сприяти його латералізації та підвищувати локальний тиск у пателофemorальному суглобі, створюючи умови для нерівномірного розподілу навантаження і патологічного механічного стресу на ВЗН [22, 23].

Гіпотрофія ЧМС, яка є частим явищем після травм та оперативних втручань на КоС, призводить до порушення м'язового балансу, зниження динамічної стабілізації наколінка та латералізації контактної зони. Це супроводжується підвищенням локальних піків тиску в пателофemorальному сегменті, збільшенням ексцентричного навантаження та зростанням механічного стресу в зонах прикріплення власної зв'язки наколінка – умовах, що є патогенетично несприятливими і можуть сприяти розвитку або підтриманню тендинопатії.

Для кількісної оцінки зазначених механізмів широко використовуються методи математичного та тривимірного моделювання. Біомеханічне моделювання дозволяє оцінити розподіл напружень, контактних сил і моментів у різних положеннях колінного суглоба, а також визначити, як зміна окремих параметрів – зокрема сили квадрицепса або кута згинання – впливає на умови функціонування пателофemorального комплексу та власної зв'язки наколінка. Цей підхід є особливо цінним для обґрунтування вибору відновних втручань, спрямованих на відновлення м'язового балансу та оптимізацію навантаження на розгинальний апарат.

Таким чином, функціонування ВЗН тісно пов'язане зі станом ЧМС, кінематикою наколінка та загальним руховим патерном нижньої кінцівки. Порушення цих взаємозв'язків, особливо в умовах гіпотрофії ЧМС, формує механічні передумови для хронічного перевантаження зв'язки, що обґрунтовує патогенетичне значення м'язового дисбалансу та необхідність його корекції в процесі фізичної терапії [24].

Діагностика ТН ґрунтується на комплексній оцінці клінічних проявів, анамнестичних даних, функціонального стану КоС та результатів інструментальних методів. У сучасній літературі підкреслюється, що діагноз ТН залишається передусім клінічним. Основними діагностичними ознаками є локалізований біль у ділянці нижнього полюса наколінка або по ходу проксимальної частини ВЗН та його чіткий зв'язок із механічним навантаженням. Найбільш характерним є посилення болю під час рухів, що потребують

накопичення та вивільнення енергії в розгинальному апараті – при стрибках, бігу, присіданнях, підйомі та спуску сходами [25, 26].

Клінічне обстеження включає аналіз скарг та анамнезу, пальпацію ділянки ВЗН та виконання функціональних провокаційних тестів. Найбільш інформативним вважається присідання на одній кінцівці (single-leg decline squat), яке дозволяє відтворити типовий біль і уточнити його локалізацію. При цьому жоден окремий тест не може розглядатися ізольовано – діагностика повинна ґрунтуватися на сукупності клінічних ознак.

Серед інструментальних методів провідне місце займає ультразвукове дослідження. УЗД дозволяє оцінити товщину ВЗН, ехогенність її тканини, впорядкованість колагенових волокон, наявність гіпоехогенних ділянок та ознак неоваскуляризації при доплерівському дослідженні. Комплексна оцінка кількох ультразвукових параметрів має більшу діагностичну цінність, ніж аналіз окремої ознаки [27, 28, 29].

Результати УЗД слід інтерпретувати обережно: структурні зміни зв'язки можуть виявлятися у безсимптомних осіб, особливо серед спортсменів, а їх наявність може асоціюватися з підвищеним ризиком розвитку клінічної ТН в майбутньому. Таким чином, УЗД має важливе допоміжне та прогностичне значення, однак не може бути єдиною основою для встановлення діагнозу без урахування клінічної картини. МРТ застосовується переважно для диференційної діагностики або за підозри на поєднану патологію [30, 31, 32].

Таким чином, сучасна діагностика ТН базується на поєднанні клінічної оцінки, функціонального аналізу та ультразвукової візуалізації. Такий підхід дозволяє не лише підтвердити наявність патологічних змін, а й оцінити їх клінічне значення та функціональні наслідки, що є важливим для вибору оптимальної тактики відновного лікування.

Відновне лікування ТН є складним клінічним завданням у зв'язку з багатофакторністю патогенезу та схильністю до хронізації симптомів. Ефективність терапії значною мірою залежить від індивідуалізації програми, стадії патологічного процесу та функціонального стану пацієнта.



Базовим напрямом консервативного лікування є навантажувальна терапія. Найбільшу доказову підтримку мають програми дозованого механічного навантаження, спрямовані на поступову адаптацію сухожильно-зв'язкової тканини до функціональних вимог. Сучасні підходи надають перевагу поетапним програмам, що включають ізометричні, ізотонічні, ексцентричні та функціональні вправи з урахуванням больової реакції і поступового повернення до повного навантаження, а не ізольованому використанню ексцентричного режиму [33, 34, 35, 36, 37].

Важливою складовою є корекція м'язово-функціональних порушень. Зниження сили ЧМС, м'язовий дисбаланс і дефіцит нейром'язового контролю можуть підтримувати патологічне перевантаження ВЗ. Тому сучасні програми фізичної терапії передбачають тренування м'язів стегна та тазового поясу, корекцію координації рухів, відновлення контролю стрибкових і присідальних рухів, а також оптимізацію навантаження на весь кінетичний ланцюг нижньої кінцівки.

Контроль больового синдрому здійснюється через модифікацію навантаження, ізометричні вправи та фізіотерапевтичні методи, однак короткотермінове зменшення болю не є самостійною метою лікування. Пріоритетом залишається відновлення навантажувальної здатності тканини та функціональної спроможності пацієнта. У резистентних випадках застосовують ін'єкційні технології [38], ударно-хвильову терапію [39], ортезування, тейпування або хірургічне лікування, хоча їх ефективність значною мірою залежить від правильного відбору пацієнтів і поєднання з адекватною реабілітацією.

Особливої уваги потребують пацієнти після артроскопічних втручань на КоС, у яких ТН поєднується з післяопераційною гіпотрофією ЧМС, порушенням рухового патерну та зниженням функціональної активності. У таких випадках потрібно враховувати принципи як лікування тендинопатії, так і відновлення після артроскопії, що потребує комплексного та індивідуалізованого підходу [40].

Роботизовані технології розглядаються як перспективний напрям інструмент фізичної терапії, що ґрунтується на можливості забезпечення контрольованого, повторюваного та дозованого локомоторного тренування з регульованими параметрами навантаження, швидкості руху та підтримки маси тіла. З позицій сучасної біомеханіки та нейрофізіології це створює умови для формування фізіологічного рухового патерну, активації нервово-м'язових механізмів і підвищення активної участі пацієнта в відновному процесі.

Роботизовані ортези для тренування ходьби, зокрема система Локомат, спочатку здобули широке застосування в неврологічній фізичній терапії і поступово привернули увагу в ортопедично-травматологічній практиці. R. Riener та співавт. показали, що пацієнт-кооперативні стратегії керування сприяють більш активній участі пацієнта в русі та дозволяють гнучко регулювати параметри тренування [41, 42, 43, 44]. Hussain та співавт. підкреслюють, що основними перевагами роботизованих технологій фізичної терапії є висока повторюваність рухових актів і можливість стандартизації локомоторного навантаження [45, 46].

Для ортопедичної практики особливий інтерес становить дослідження Li J та співавт. (2014), що показало переваги роботизованого тренування після тотального ендопротезування колінного суглоба щодо відновлення ходи та функціонального стану [47, 48].

Незважаючи на те, що більшість досліджень виконано в неврологічних пацієнтів, принципи дозованої локомоторної терапії – повторюваність руху, контрольоване навантаження, рання активізація – мають значний потенціал і для пацієнтів після артроскопічних втручань на колінному суглобі. Це особливо актуально в умовах гіпотрофії квадрицепса, переднього больового синдрому та порушення навантажувальної здатності нижньої кінцівки [49, 50, 51, 52, 53, 54, 55].

Таким чином, питання ТН після артроскопічної резекції меніска залишаються недостатньо вивченими: в літературі відсутні комплексні дані щодо клінічних проявів, функціонального стану, ультразвукових характеристик,

особливостей вегетативної регуляції та біомеханічних передумов формування даної патології у пацієнтів після артроскопії. Це обґрунтовує необхідність проведення даного дослідження та розробки патогенетично обґрунтованої програми відновного лікування із застосуванням роботизованого ортеза (РО).

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1 Дизайн дослідження

Було проведено проспективне дослідження, до якого було включено 120 пацієнтів із клінічними та інструментальними проявами тендинопатії власної зв'язки наколінка після артроскопічного втручання на колінному суглобі.

Пацієнтів було розподілено на дві групи по 60 осіб у кожній. Пацієнти групи дослідження, починаючи з 14-го дня після хірургічного втручання, проходили курс фізичної терапії, як складової реабілітації, із застосуванням роботизованого ортеза, який включав 15 сеансів протягом 4 тижнів, пацієнти групи порівняння проходили фізичну терапію за протоколом EU-US Meniscus Rehabilitation 2024 Consensus. Контрольні точки обстеження пацієнтів передбачали оцінку їх стану до операції, через 14 днів після хірургічного втручання, через 6 тижнів та через 3 місяці. Останній термін спостереження розцінювали як мінімально короткий віддалений результат, оскільки після стандартної артроскопічної резекції меніска зазвичай очікується повне функціональне відновлення саме в цей період.

Критеріями включення пацієнтів у дослідження були: вік від 18 до 50 років; індекс маси тіла менше  $35 \text{ кг/м}^2$ ; підтверджене за даними магнітно-резонансної томографії ушкодження меніска IIIA–IIIB ступеня за Stoller; відсутність ушкоджень інших внутрішньосуглобових структур; виконане артроскопічне втручання на КоС з резекцією ушкодженої частини меніска; розвиток больового синдрому в передньому відділі КоС в ділянці ВЗН; наявність клінічних та інструментальних ознак ТН протягом 14 днів після хірургічного втручання.

Критеріями виключення з дослідження були супутні ушкодження інших структур КоС, зокрема хондромаліяція, ушкодження передньої або задньої схрещених зв'язок, колатеральних зв'язок, наявність вільних тіл у порожнині суглоба, дисплазія колінного суглоба, високе/низьке стояння наколінка, наявність синовіту, наявність дегенеративних змін у власній зв'язці наколінка за даними магнітно-резонансної томографії та аутоімунні захворювання в анамнезі.

Наявність ТН встановлювали на підставі аналізу скарг, анамнезу, даних клінічного обстеження та результатів інструментальних методів дослідження.

Дослідження виконано з дотриманням принципів біомедичної етики відповідно до положень Гельсінської декларації прав людини Всесвітньої медичної асоціації, Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину, а також відповідних законів України. Протокол дослідження розглянуто та схвалено Комісією з біоетики ДУ “Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України” (протокол № 2 від 30 березня 2023 р. та протокол № 2 від 12 березня 2026 р.). Усі пацієнти до включення в дослідження були поінформовані про мету, методи обстеження та лікування, можливі ризики і переваги участі та підписали інформовану згоду на участь у дослідженні та обробку персональних даних.

## **2.2. Характеристика клінічних груп**

Для реалізації поставлених завдань дослідження 120 пацієнтів із ТН після артроскопічної резекції меніска КоС було розподілено на дві клінічні групи по 60 осіб у кожній.

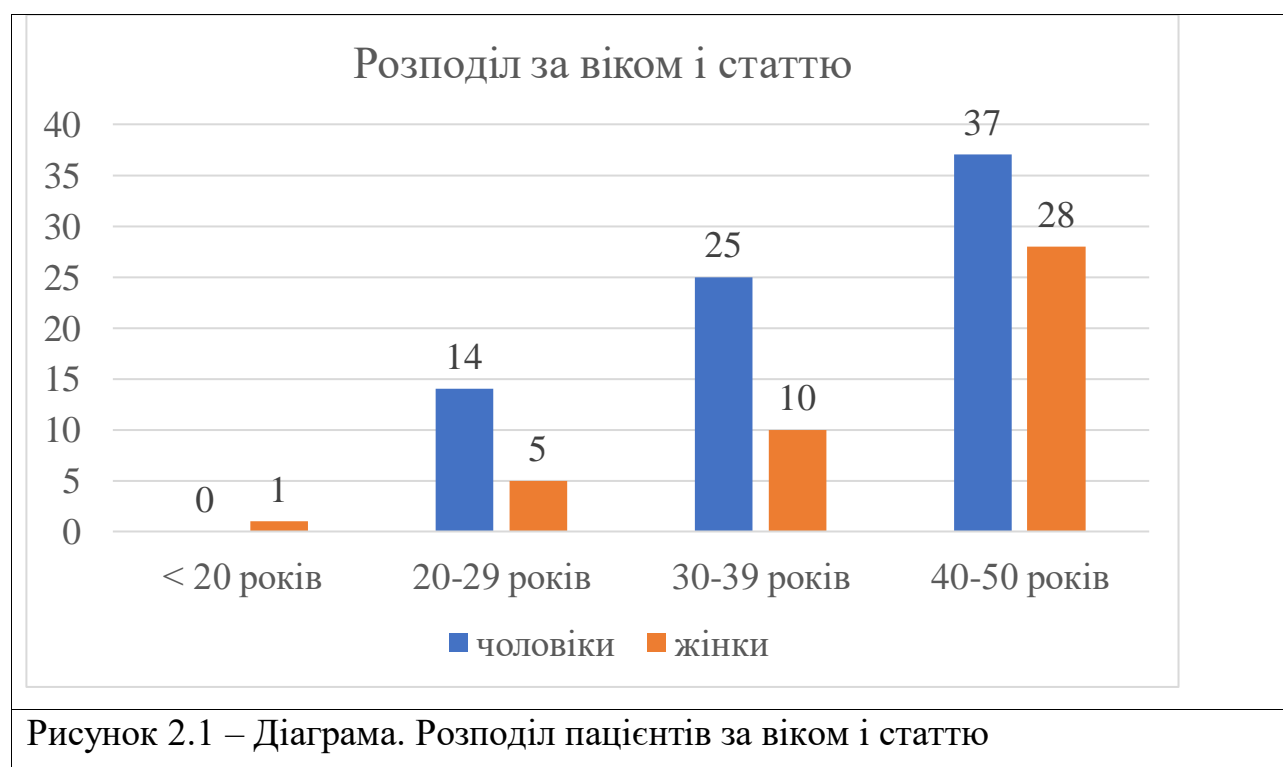
Усі пацієнти були віком від 18 до 50 років. Серед обстежених було 76 чоловіків та 44 жінки. Середній вік пацієнтів становив  $38,14 \pm 7,81$  року. Середній індекс маси тіла обстежених становив  $28,50 \pm 5,92$  кг/м<sup>2</sup>.

У ранньому післяопераційному періоді всі пацієнти отримували однакові рекомендації щодо ранньої активації та виконання комплексу домашніх фізичних вправ, у зв'язку з чим до 14-го дня після операції умови відновного лікування в обох групах були ідентичними. На 14-й день після хірургічного втручання проводили повторне клінічне та інструментальне обстеження, за результатами якого пацієнтів із ранніми проявами ТН включали в дослідження. Надалі в групі дослідження до стандартної програми лікування додатково включали фізичну терапію, як складову реабілітації, із застосуванням роботизованого ортеза, тоді як у контрольній групі продовжували за протоколом EU-US Meniscus Rehabilitation 2024 Consensus. Такий підхід давав змогу оцінити ефективність застосування РО саме в пацієнтів із ранніми проявами ТН після артроскопії КоС.

У доступних літературних джерелах відсутній єдиний стандартизований підхід до фізичної терапії пацієнтів із ранніми проявами ТН після артроскопії КоС. Саме тому оцінка ефективності включення РО до програми фізичної терапії цієї категорії хворих становила як практичний, так і науковий інтерес.

Пацієнти контрольної групи проходили традиційну програму відновного лікування, побудовану відповідно до основних положень міжнародного **EU-US Meniscus Rehabilitation 2024 Consensus** щодо фізичної терапії після артроскопічної часткової менісектомії. Програма ґрунтувалася на критеріально орієнтованому підході з акцентом на досягнення клінічних віх відновлення, зокрема зменшення набряку, відновлення обсягу рухів, покращення сили ЧМС та нейром'язового контролю [56].

До групи дослідження увійшли 60 пацієнтів, яким, починаючи з 14-го дня після хірургічного втручання, проводили курс комплексного відновного лікування із застосуванням роботизованого ортеза. Курс включав 15 сеансів протягом 4 тижнів. Серед пацієнтів основної групи було 36 чоловіків та 24 жінки. Середній вік хворих цієї групи становив  $37,92 \pm 8,29$  року, а середній індекс маси тіла –  $27,62 \pm 3,75$  кг/м<sup>2</sup> дані наведено на рис. 2.1.



Формування груп здійснювали відповідно до критеріїв включення та виключення, прийнятих у дослідженні. Усі пацієнти обох груп перенесли артроскопічну резекцію ушкодженої частини меніска та мали клінічні й інструментальні ознаки ТН, виявлені протягом 14 днів після хірургічного втручання.

Групи були співставними за основними клініко-анамнестичними та антропометричними показниками, зокрема за віком, статтю, індексом маси тіла, характером ушкодження меніска та строками післяопераційного спостереження, що дозволяло коректно порівнювати результати проведеного відновного лікування та оцінювати ефективність запропонованої програми фізичної терапії.

Пацієнтів обох груп обстежували в однакові контрольні терміни: до операції, через 14 днів після хірургічного втручання, через 6 тижнів та через 3 місяці, що забезпечувало можливість оцінки динаміки клінічних, функціональних та інструментальних показників у процесі відновного лікування.

Загальні характеристики пацієнтів, кількість і розподіл по групах, стать, вік та ІМТ представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

## Загальні характеристики пацієнтів

	Загально	Дослідження	Порівняння	P
Кількість пацієнтів	120	60	60	< 0,001
Чоловіки	76	36	40	< 0,001
Жінки	44	24	20	< 0,001
Вік	38,14 ± 7,81	37,92 ± 8,29	38,37 ± 7,37	< 0,001
ІМТ	28,50 ± 5,92 кг/м <sup>2</sup>	27,62 ± 3,75 кг/м <sup>2</sup>	28,54 ± 4,02 кг/м <sup>2</sup>	< 0,001

### **2.3. Методи обстеження пацієнтів**

Для досягнення мети та виконання завдань дослідження застосовано комплекс клінічних, інструментальних, функціональних, біомеханічних і статистичних методів обстеження. Такий підхід дозволив всебічно оцінити клінічні прояви ТН, функціональний стан КОС, структурні зміни тканини ВЗН, особливості вегетативної нервової регуляції (ВНР), зміни сили м'язів (СМ) нижньої кінцівки, а також обґрунтувати ефективність застосованого відновного лікування.

Усі методи обстеження застосовували в динаміці: до операції, через 14 днів після хірургічного втручання, через 6 тижнів та через 3 місяці, що дозволяло оцінити зміни досліджуваних показників у процесі відновного лікування.

Клінічне обстеження включало аналіз скарг, даних анамнезу, оцінку локального статусу, визначення особливостей больового синдрому та функціональних порушень у пацієнтів із ТН після артроскопічної резекції меніска. Під час обстеження враховували локалізацію болю, його інтенсивність, зв'язок із фізичним навантаженням, наявність болючості при пальпації ВЗН, а також особливості рухової активності пацієнтів.

Для оцінки функціонального стану КОС, вираженості больового синдрому та якості життя використовували стандартизовані клінічні шкали й опитувальники. Інструментальні методи включали сонографічне обстеження ВЗН з метою визначення структурних змін її тканини. Функціональні методи застосовували для оцінки СМ нижньої кінцівки та особливостей ВНР. Біомеханічні методи передбачали математичне та тривимірне моделювання КОС і ВЗН в нормі та в умовах гіпотрофії ЧМС.

#### **2.3.1. Клінічні методи обстеження**

Клінічні методи обстеження застосовували для верифікації характерних ознак ТН. Під час обстеження аналізували скарги пацієнтів, анамнез захворювання, зв'язок болю з фізичним навантаженням, а також дані локального ортопедичного статусу. Клінічне обстеження розглядали як базовий етап верифікації ТН, оскільки в сучасній літературі підкреслюється, що діагноз даної патології залишається передусім клінічним. [15, 16].



Під час огляду та пальпації визначали наявність локальної болючості в нижньому відділі ВЗН в інфрапателлярній ділянці, а також дифузної болючості вздовж її ходу (Рис. 2.2).

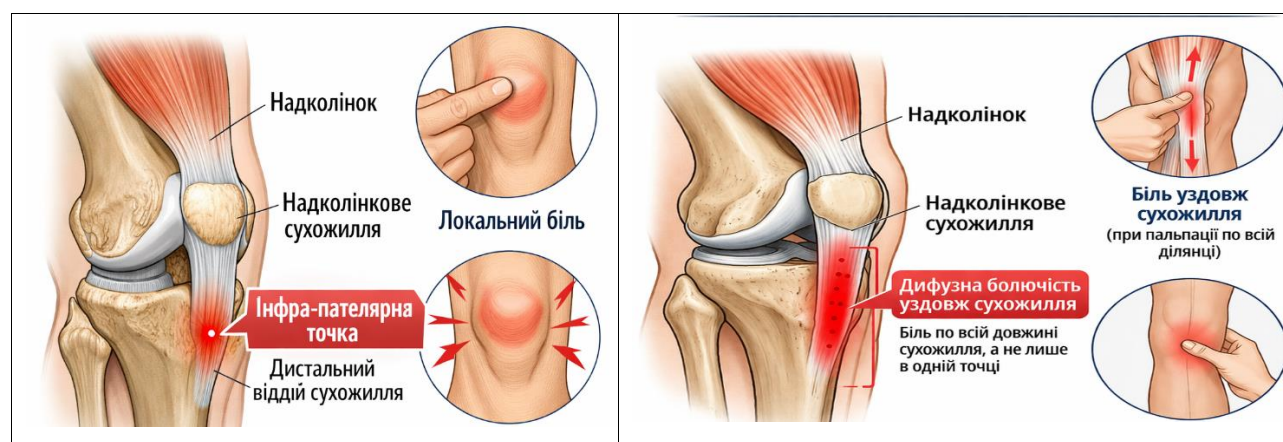


Рисунок 2.2 – Клінічні симптоми «фокальної болючості» та «дифузної болючості» ВЗН

Для уточнення функціонального значення больового синдрому оцінювали болючість при опорі розгинанню КоС, біль при присіданні на оперованій нижній кінцівці, а також наявність болю, пов'язаного з навантаженням, зокрема його посилення після стрибків або під час приземлення (Рис. 2.2). [15, 16].



Рисунок 2.3 – Клінічні симптоми «фокальної болючості» та «дифузної болючості» ВЗН

Окрім цього, враховували ознаки функціонального дефіциту, зокрема біль при виконанні максимального вертикального стрибка та зниження висоти стрибка (Рис. 2.3). Такі клінічні прояви розцінювали як ознаки порушення функціонального стану розгинального апарату КоС та зниження толерантності

до фізичного навантаження. Провокаційні функціональні тести, зокрема присідання на одній нозі, дозволяють відтворити характерний біль та уточнити його локалізацію, що підвищує діагностичну цінність клінічного обстеження [15, 17].

Результати клінічних тестів оцінювали з урахуванням наявності або відсутності больової реакції та ступеня функціонального обмеження під час виконання відповідного рухового завдання.

### **2.3.2. Оцінка больового синдрому та функціонального стану за стандартизованими шкалами**

Для кількісної оцінки вираженості больового синдрому та функціонального стану КоС у пацієнтів досліджуваних груп застосовували стандартизовані шкали: візуальну аналогову шкалу болю, опитувальник Anterior Knee Pain Scale (AKPS) та шкалу Lysholm.

Інтенсивність больового синдрому визначали за допомогою візуальної аналогової шкали (ВАШ). Пацієнту пропонували оцінити вираженість болю за 10-бальною шкалою, де 0 балів відповідало відсутності болю, а 10 балів – максимально вираженому болю. Використання ВАШ дозволяло оцінити суб'єктивне сприйняття болю в динаміці спостереження та порівнювати зміни больового синдрому на різних етапах відновного лікування.

Для оцінки функціонального стану колінного суглоба та вираженості симптомів у передньому відділі коліна застосовували Anterior Knee Pain Scale (AKPS). Опитувальник давав змогу оцінити функціональні обмеження, пов'язані з болем у передньому відділі колінного суглоба, зокрема під час ходьби, бігу, присідання, підйому та спуску сходами, тривалого сидіння та інших видів повсякденної активності. Чим вищим був сумарний бал, тим кращим вважали функціональний стан КоС.

Для комплексної оцінки функції КоС та рівня фізичної активності використовували шкалу Lysholm. Шкала Lysholm дозволяла оцінити основні клінічні прояви та функціональні порушення, зокрема біль, нестабільність, набряк, кульгавість, блокування суглоба, труднощі під час ходьби сходами та присідання.

Вибір зазначених інструментів був зумовлений їх широким використанням у клінічній практиці та дослідженнях, а також підтвердженими психометричними властивостями. ВАШ є валідним і чутливим методом суб'єктивної оцінки інтенсивності болю. АКPS розроблена для оцінки симптомів і функціональних обмежень при болю в передньому відділі колінного суглоба та має добру надійність і валідність. Шкала Лісхольма є одним із найбільш поширених інструментів для оцінки функціонального стану КоС, для якого також підтверджено прийнятні показники надійності, валідності та чутливості до змін [57, 58, 59, 60, 61, 62]

### **2.3.3. Ультразвукове дослідження ВЗН**

Ультразвукове дослідження власної зв'язки наколінка (ВЗН) проводили з метою інструментального підтвердження діагнозу тендинопатії та динамічної оцінки структурних змін її тканини. Обстеження виконували на ультразвуковій системі Canon Aplio i700 із використанням лінійного датчика частотою 12–18 МГц; для оцінки васкуляризації застосовували режим кольорового доплерівського картування.

У сучасній літературі ультразвукова візуалізація розглядається як один з основних допоміжних методів діагностики тендинопатії, що дозволяє виявляти морфологічні зміни тканини зв'язки, уточнювати їх локалізацію та оцінювати васкуляризацію. Результати УЗД інтерпретували в поєднанні з клінічними проявами та функціональними порушеннями, оскільки ультразвукове дослідження не замінює клінічного обстеження [63, 64].

Під час дослідження оцінювали товщину ВЗН, ехогенність її тканини, ступінь упорядкованості фібрилярної структури, наявність гіпоехогенних ділянок і локальних зон потовщення. У доплерівських режимах визначали наявність та вираженість внутрішньотканинної і перитендинозної васкуляризації як непрямой ознаки неоваскуляризації [64, 65, 66].

Особливу увагу приділяли ділянці прикріплення ВЗН до нижнього полюса наколінка, оскільки саме ця зона найчастіше залучається до патологічного процесу. Характерними ультразвуковими ознаками тендинопатії є потовщення проксимальної частини зв'язки, гіпоехогенні зміни, втрата фібрилярної

архітектоніки та поява доплерівських сигналів у товщі тканини або в прилеглих структурах [64, 65].

Таким чином, комплексний аналіз ультразвукових, клінічних і функціональних показників дозволяв повноцінно оцінити стан ВЗН та обґрунтувати діагноз тендинопатії.

### **2.3.5. Оцінка сили м'язів нижньої кінцівки**

Оцінку сили м'язів нижньої кінцівки проводили з метою кількісної характеристики функціонального стану м'язового апарату, виявлення м'язового дисбалансу та динамічного контролю змін, що супроводжували тендинопатію власної зв'язки наколінка після артроскопічної резекції меніска. Дослідження виконували за допомогою діагностичної програми роботизованого ортеза Lokomat Pro версії 6.0 (Hocoma AG, Volketswil, Швейцарія), яка дозволяє реєструвати крутний момент у кульшовому та колінному суглобах і на цій основі оцінювати силові характеристики відповідних м'язових груп [67, 68, 69].

Визначали силові показники чотирьох функціональних груп: згиначів і розгиначів кульшового суглоба та згиначів і розгиначів КоС. Оцінку проводили окремо для правої та лівої нижньої кінцівки. Результати реєстрували в Н·м як інтегрований показник програмного аналізу, що відображав сумарну функцію відповідної м'язової групи. Такий підхід дозволяв визначати міжкінцівкову асиметрію та проводити порівняльний аналіз у динаміці лікування [67, 68, 70].

Основним показником визначено силу розгиначів КоС, оскільки зниження сили ЧМС та пов'язаний із цим м'язовий дисбаланс є одним із ключових чинників розвитку і підтримання функціональних порушень при ТН.

Дослідження проводили у чотири контрольні терміни: до операції, на 14-й день після хірургічного втручання, через 6 тижнів та через 12 тижнів після операції. Такий підхід дозволяв оцінити вихідний рівень м'язової сили, її динаміку в ранньому та пізньому післяопераційних періодах і ефективність застосованих програм відновного лікування.

### **2.3.6. Біомеханічні методи дослідження**

Для вивчення біомеханічних передумов розвитку ТН проведено комп'ютерне моделювання КоС (Рис. 2.4) з подальшим чисельним аналізом

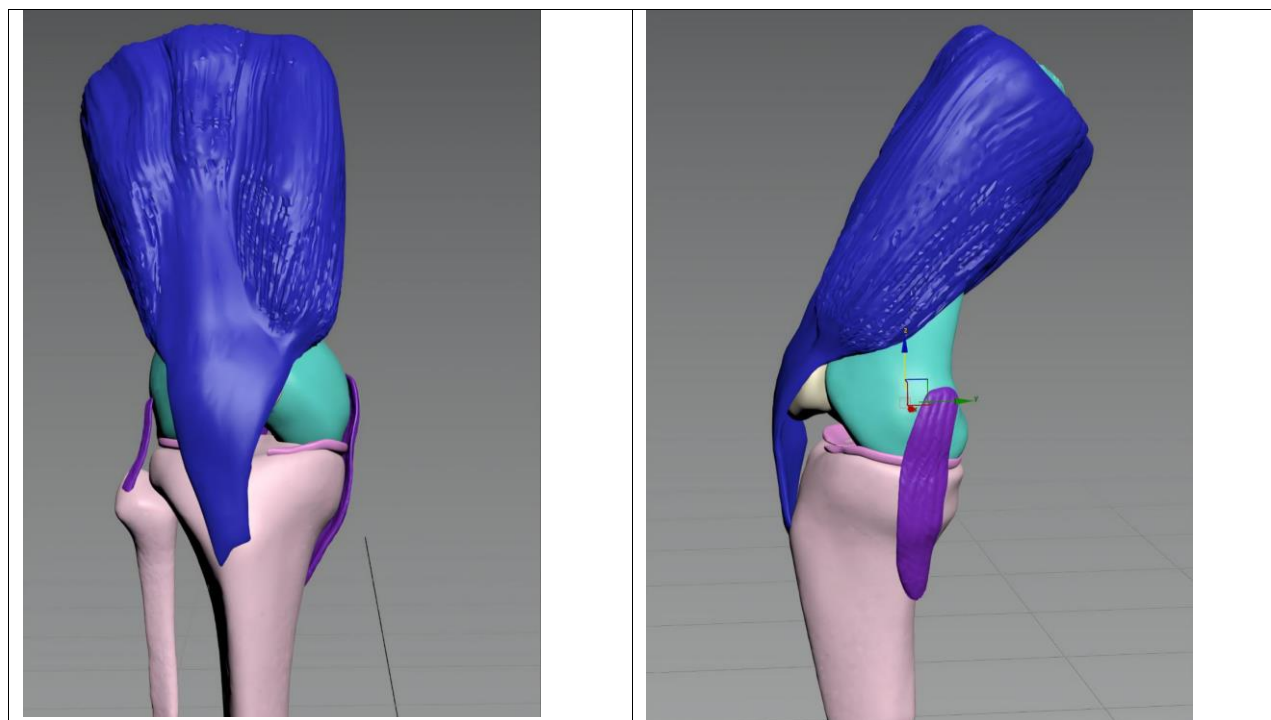


Рисунок 2.4 – 3D-модель розгинального апарату та зв'язок колінного суглоба.

методом скінченних елементів. Дослідження виконували з використанням програм SolidWorks 2023 (Dassault Systèmes, Франція), 3ds Max 2025 (Autodesk Inc., США), 3-Matic (Materialise NV, Leuven, Бельгія) та SimSolid 2023 (Altair Engineering, США).

Тривимірну модель КоС формували на основі двовимірних зображень комп'ютерної томографії з подальшим перетворенням у 3D-модель засобами програми 3-Matic. Модель включала кісткові структури, суглобовий хрящ, зв'язковий апарат і власну зв'язку наколінка. Для аналізу використовували квазістатичну постановку задачі [71].

У чисельній моделі дистальний відділ великогомілкової кістки вважали повністю зафіксованим, що імітувало жорстке блокування сегмента. На проксимальний відділ стегнової кістки прикладали осьове навантаження, орієнтоване вздовж механічної осі кінцівки. Базову величину навантаження приймали еквівалентною масі тіла 90 кг (882 Н); з урахуванням зростання результуючої сили до 2–3 маси тіла в одноопорній фазі ходьби додатково розглядали діапазон навантажень 0,8–2,5 кН для аналізу чутливості. Контакт між

суглобовими поверхнями задавали як фрикційний з обмеженим проникненням; вплив м'яких тканин і зв'язково-капсульного апарата відтворювали за допомогою ефективних пружних обмежень [72, 73].

У моделі враховували морфометричні параметри КоС дорослої людини та фізико-механічні властивості основних тканин: кортикальної і трабекулярної кісткової тканини, суглобового хряща, зв'язок і сухожилків.

Таблиця 2.2

## Фізико-механічні властивості кісткової тканини

Тканина	Модуль Юнга, Е	Коеф. Пуассона, $\nu$	Міцність
Кортикальна кістка	14–20 ГПа	0,28–0,33	120–200 МПа
Трабекулярна кістка	0,05–0,8 ГПа	0,20–0,30	2–12 МПа (стиск)

Кісткову тканину моделювали ізотропним матеріалом із диференціацією жорсткості між кортикальним і трабекулярним шарами; зв'язки та сухожилки апроксимували лінійно-пружними властивостями в межах їх функціонального діапазону. Фізико-механічні характеристики тканин наведено в таблицях 2.2–2.5.

Таблиця 2.3

## Фізико-механічні властивості суглобового хряща

Параметр	Значення	Примітка
Е (моментальний)	5–25 МПа	висока в'язкопружність
Е (довготривалий)	0,5–5 МПа	повзучість, двофазність
$\nu$	0,40–0,49	майже нестисливий
Стискаюча міцність	5–20 МПа	—

Таблиця 2.4

## Фізико-механічні властивості зв'язок

Структура	E	$\nu$	Міцність (розтяг)
ПСЗ	150–350 МПа	0,35–0,45	25–40 МПа
ЗСЗ	200–400 МПа	0,35–0,45	30–45 МПа
МКЛ	100–300 МПа	0,35–0,45	20–35 МПа
ЛКЛ	150–300 МПа	0,35–0,45	20–30 МПа

Таблиця 2.5

## Фізико-механічні властивості сухожилків та м'язів

Тканина	E	$\nu$	Коментар
Сухожилки (квадрицепс/пателлярна)	500–1200 МПа	0,30– 0,45	виражена нелінійність
М'яз (пасивний)	10–80 кПа	$\approx$ 0,45– 0,50	м'яка тканина
М'яз (активний)	0,1–0,6 МПа	$\approx$ 0,48– 0,50	ефективний E (ізометрія)

Для моделювання ВЗН використовували такі параметри: у нормі — довжина  $55 \pm 5$  мм, товщина  $5 \pm 0,5$  мм; при тендинопатії — довжина  $50 \pm 20$  мм, товщина  $7 \pm 0,5$  мм.

Моделювання проводили для трьох положень КоС — при кутах згинання  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  та  $90^\circ$ . Окремо аналізували модель із нормальним м'язовим балансом та модель в умовах гіпотрофії ЧМС. Для відтворення гіпотрофії значення медіальної сили знижували на 50% від умовно нормальних показників: при  $30^\circ$  — з 441 Н до 221 Н, при  $60^\circ$  — з 588 Н до 294 Н, при  $90^\circ$  — з 721 Н до 361 Н. Це

дозволяло оцінити вплив м'язового дисбалансу на розподіл навантаження в пателофеморальному сегменті та ВЗН [74, 75].

У процесі чисельного аналізу оцінювали розподіл еквівалентних напружень за Von Mises, контактні сили та локальні піки навантаження в ділянці пателофеморального контакту і власної зв'язки наколінка; окремо аналізували напруження в зоні прикріплення зв'язки, розподіл навантаження між медіальним і латеральним відділами пателофеморального комплексу та моменти, що формують ексцентричне навантаження [71, 76, 77].

Таким чином, застосоване біомеханічне моделювання дозволило дослідити закономірності розподілу напружень і контактних сил у колінному суглобі в нормі та в умовах гіпотрофії квадрицепса, а також визначити механічні передумови перевантаження власної зв'язки наколінка [71, 74, 75].

### **2.3.6. Оцінка вегетативної нервової регуляції**

Оцінку ВНР проводили з метою визначення вихідного стану вегетативного балансу, ступеня функціонального напруження регуляторних механізмів та їх динаміки у процесі відновного лікування. Дослідження виконували за допомогою апарата «ВНС-Спектр» (Рис. 2.5) у стані спокою, в положенні пацієнта лежачи на спині після 10-хвилинної адаптації. Реєстрували варіабельність серцевого ритму з наступним аналізом часових і спектральних показників ритмограми.

Аналізували такі часові показники: SDNN (загальна варіабельність серцевого ритму), RMSSD (середньоквадратичне відхилення різниць послідовних NN-інтервалів) та pNN50 (частка інтервалів, що відрізняються більш ніж на 50 мс). Зі спектральних показників визначали потужність у діапазонах VLF (0,003–0,04 Гц), LF (0,04–0,15 Гц) та HF (0,15–0,40 Гц), а також індекс симпато-вагусного балансу LF/HF. Характеристики досліджуваних показників наведено в таблицях 2.6 та 2.7.



Таблиця 2.6

Досліджувані показники частотного аналізу варіабельності серцевого ритму

Показник	Діапазон частот	Основне відображення	Переважає регуляція	Клінічне значення	Норма
VLF	0,003–0,04 Гц	Гуморальна, судинна, довготривала регуляція	Симпатична (повільна)	Хронічний стрес, виснаження	—
LF	0,04–0,15 Гц	Барорефлекси, серцево-судинна реактивність	Симпато-парасимпатична (переважно симпатична)	Напруження, стрес	—
HF	0,15–0,40 Гц	Дихальні коливання, вагусна активність	Парасимпатична	Відновлення, релаксація	—
LF/HF	—	Баланс симпато-вагусної системи	—	$>2,5 \rightarrow$ симпатикотонія; $<1 \rightarrow$ ваготонія	1–2,5
LFn / HFn	—	Нормалізовані параметри	—	Відносна частка LF і HF без VLF	—

Таблиця 2.7

Досліджувані часові показники варіабельності серцевого ритму

Показник	Біологічна суть	Відображає	Норма	Зниження означає	Підвищення означає
SDNN	Загальна варіабельність	Активність обох систем (симпато- вагусний баланс)	50– 100 мс	Хронічний стрес, вегетативна недостатність	Висока адаптивність
pNN50	Частка NN- інтервалів, що відрізняються >50 мс	Парасимпатич на активність	>25 %	Симпатикотон ія	Релаксація, відновлення
RMSSD	Середнє квадратичне відхилення різниць NN	Парасимпатич на (вагусна) активність	>30 мс	Стрес, втома, біль	Високий вагусний тонус

На підставі отриманих даних визначали тип вегетативної регуляції: ейтонію (збалансований вегетативний статус), симпатикотонію або ваготонію; клас ритмограми (I–III) відповідно до ступеня напруження регуляторних систем.

Дослідження проводили у чотири контрольні терміни: до операції, на 14-й день після хірургічного втручання, через 6 тижнів та через 12 тижнів після операції. Такий підхід дозволяв оцінити вихідний вегетативний статус, його зміни в ранньому післяопераційному періоді та динаміку нормалізації під впливом заходів фізичної терапії.



Рисунок 2.5 – Апарат «ВНС Спектр».

### 2.3.7. Оцінка результатів дослідження

Статистичну обробку результатів проводили методами варіаційної статистики з використанням програмного забезпечення Statistica 10.0. Характер розподілу кількісних показників оцінювали за критерієм Шапіро–Уїлка. За умов наближення розподілу до нормального результати подавали у вигляді середнього арифметичного та стандартного відхилення ( $M \pm SD$ ); у разі відхилення від нормального — у вигляді медіани та міжквартильного інтервалу ( $Me [Q1; Q3]$ ). Якісні ознаки подавали як абсолютну кількість спостережень та відсоток від загальної кількості випадків ( $n, \%$ ).

Для порівняння незалежних вибірок за кількісними показниками застосовували критерій Манна–Уїтні. Динаміку показників у межах однієї групи в різні терміни спостереження оцінювали за критерієм Фрідмана (Friedman ANOVA); для попарного порівняння часових точок використовували post-hoc критерій Вілкоксона з поправкою Бонфероні. Для аналізу якісних показників і частотних характеристик застосовували критерій  $\chi^2$  Пірсона, а за наявності малих очікуваних частот — точний критерій Фішера. Взаємозв'язок між

показниками оцінювали за допомогою коефіцієнта рангової кореляції Спірмена; для характеристики сили асоціації між дихотомічними ознаками додатково визначали відношення шансів (odds ratio, OR).

Статистично значущими вважали відмінності при  $p < 0,05$ ; за дуже високого рівня значущості результати подавали як  $p < 0,001$ .

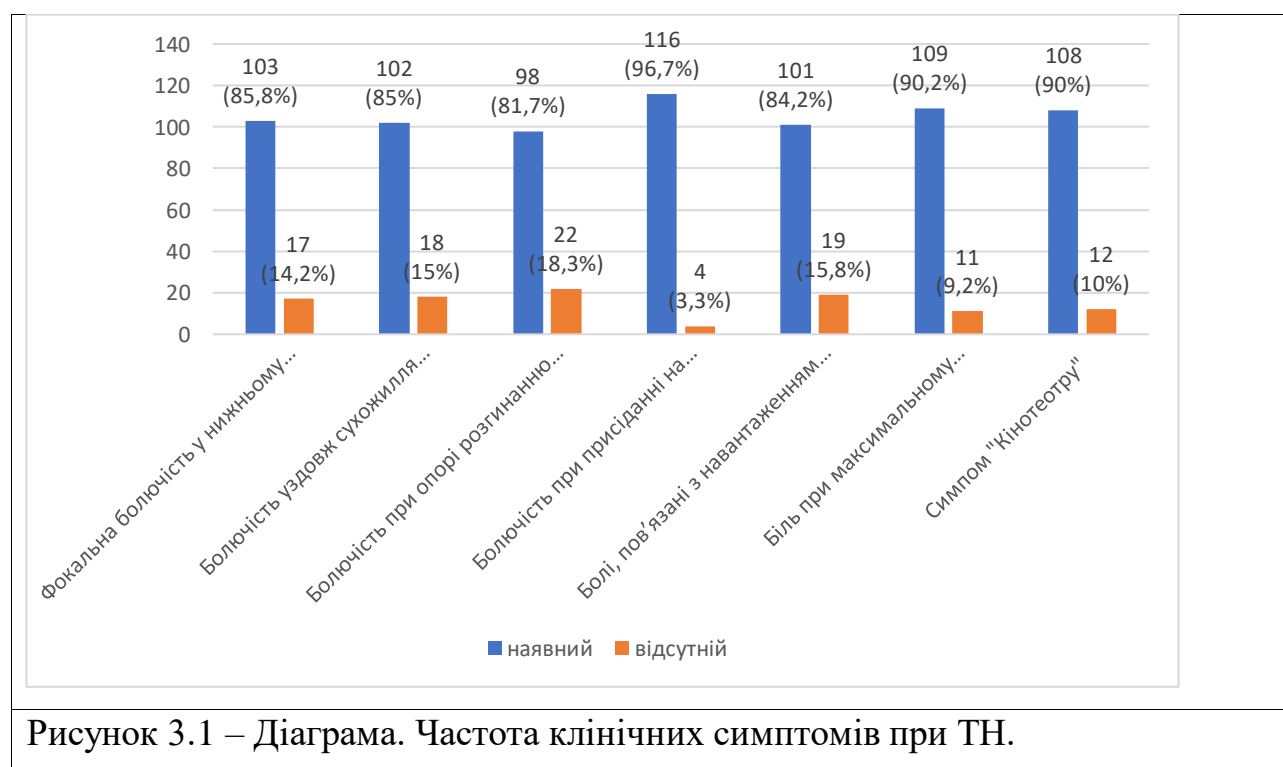
## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ КЛІНІКО-ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Клінічне обстеження пацієнтів

Під час клінічного обстеження найчастіше виявляли функціонально навантажувальні симптоми та локальні прояви больового синдрому. Найбільш поширеною ознакою була болючість при присіданні на оперованій нижній кінцівці – 116 (96,7%) пацієнтів; біль при максимальному вертикальному стрибку або зниження висоти стрибка – 109 (90,8%); симптом «кінотеатру» – 108 (90,0%). Фокальну болючість у нижньому відділі власної зв'язки наколінка встановлено у 103 (85,8%) пацієнтів, дифузну болючість уздовж зв'язки – у 102 (85,0%), біль при навантаженні або його посиленні після стрибків – у 101 (84,2%), болючість при опорі розгинанню – у 98 (81,7%) (Рис.3.1).

Аналіз поєднання симптомів показав, що у більшості пацієнтів спостерігали множинні клінічні прояви: у 92 (76,7%) одночасно визначали 6 або 7 позитивних симптомів, що свідчить про комплексний характер клінічної картини ТН після артроскопічної резекції меніска КоС.



Отримані дані дають підстави вважати, що для пацієнтів із ТН після артроскопічної резекції меніска КоС найбільш характерними є симптоми,

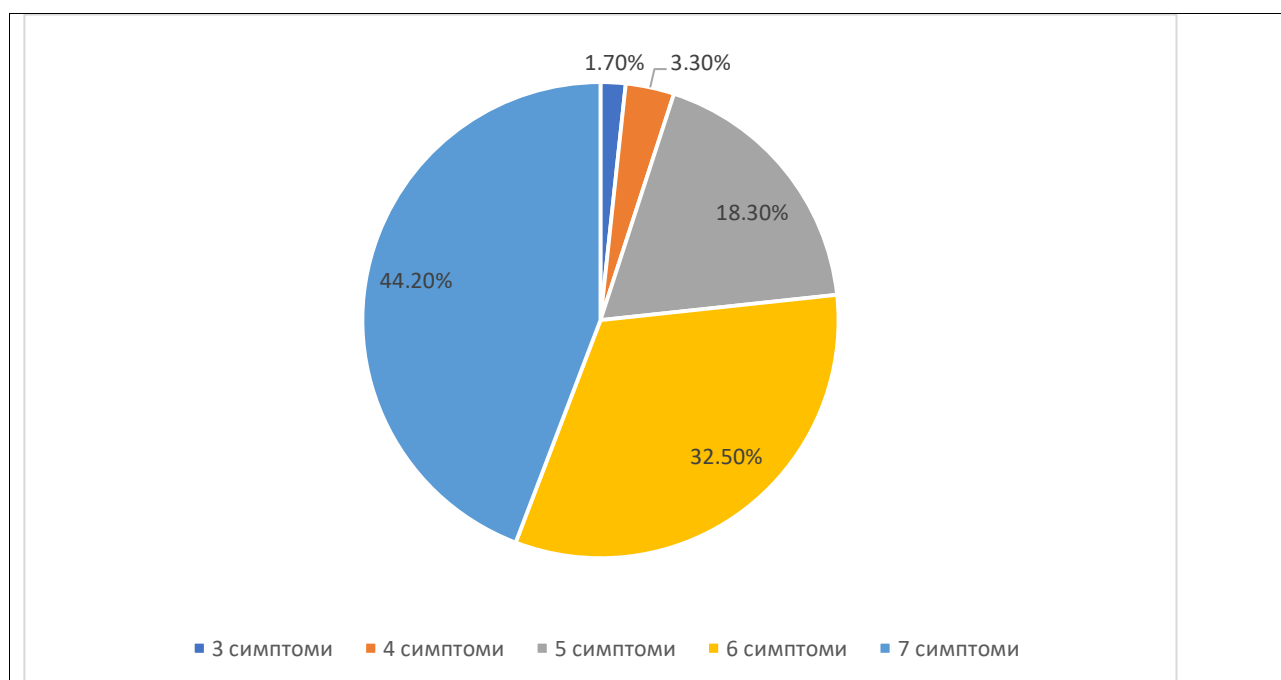


Рисунок 3.2 – Діаграма. Частота поєднання клінічних симптомів при тендинопатії власної зв'язки наколінка.

пов'язані з функціональним навантаженням на розгинальний апарат КоС, а також локальна і дифузна болючість у ділянці ВЗН (Рис.3.2).

### 3.2. Результати ультразвукового обстеження ВЗН

За даними ультразвукового дослідження найчастіше виявляли зміну контурів зв'язки, зниження ехогенності та підвищення васкуляризації. Змінені контури визначали у 107 (89,2%) обстежених, зниження ехогенності – у 103 (85,8%), підвищену васкуляризацію – у 102 (85,0%), збільшення товщини зв'язки порівняно з контралатеральною стороною – у 69 (57,5%). Таким чином, найбільш поширеними сонографічними ознаками ТН були зміна контурів, зниження ехогенності та підвищення васкуляризації, тоді як збільшення товщини виявлялося рідше. Описані сонографічні зміни та їх частота представлені на рис. 3.3-3.4.

Попри те, що контури зв'язки залишалися незмінними у 13 (10,8%) пацієнтів, ехогенність не була змінена у 17 (14,2%), відсутність підвищення васкуляризації встановлено у 18 (15,0%), а відсутність збільшення товщини – у 51 (42,5%) обстежених.

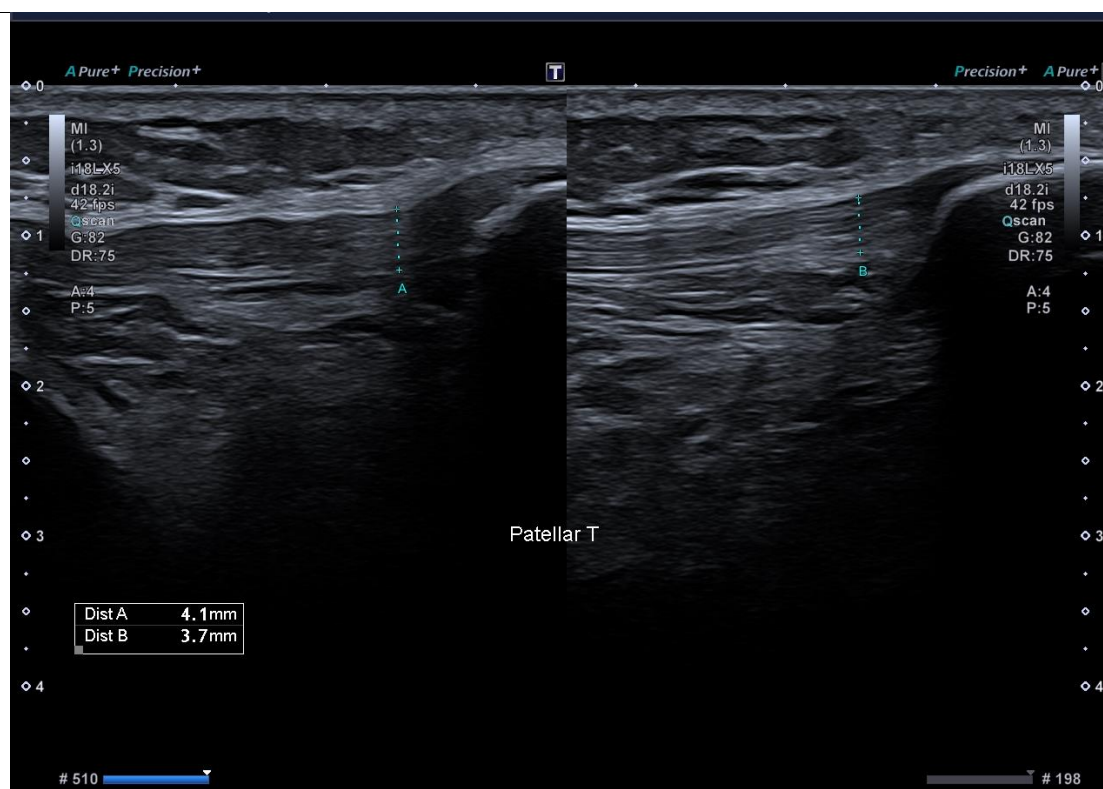


Рисунок 3.3 – Сонографічні зміни ВНС на проксимальному рівні

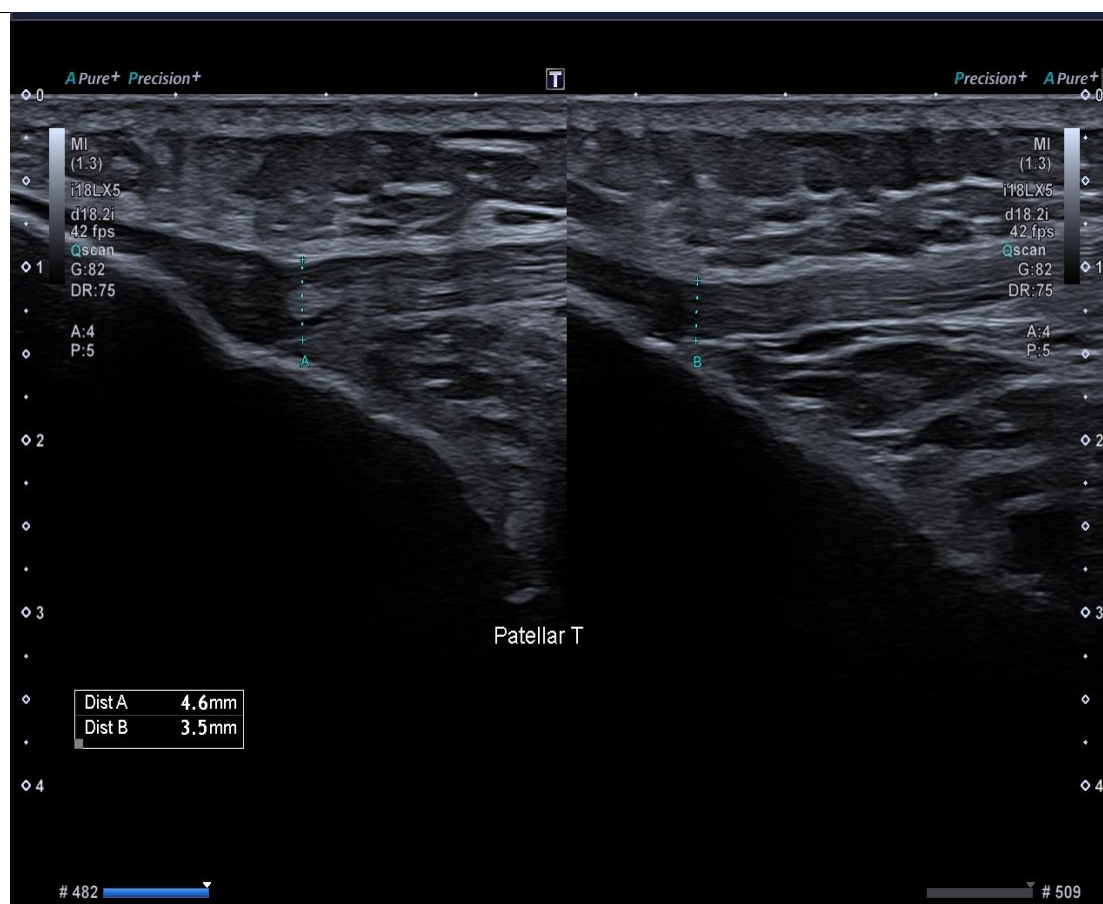


Рисунок 3.4 – Сонографічні зміни ВНС на дистальному рівні

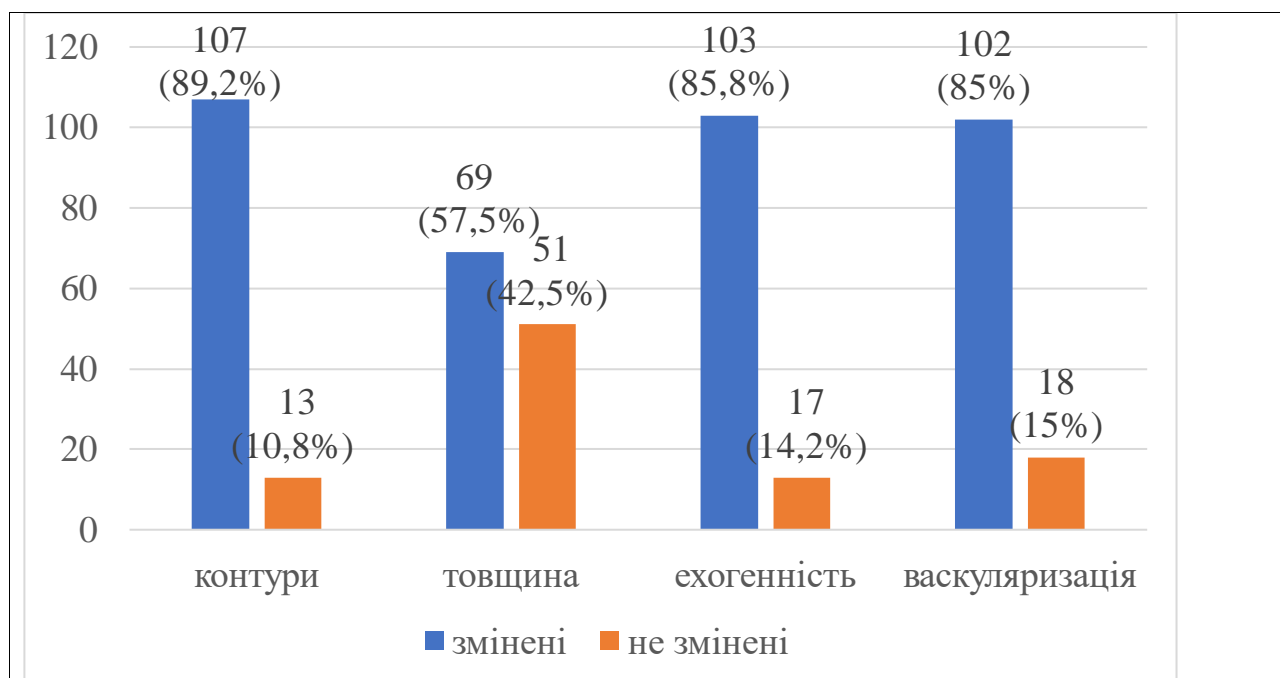
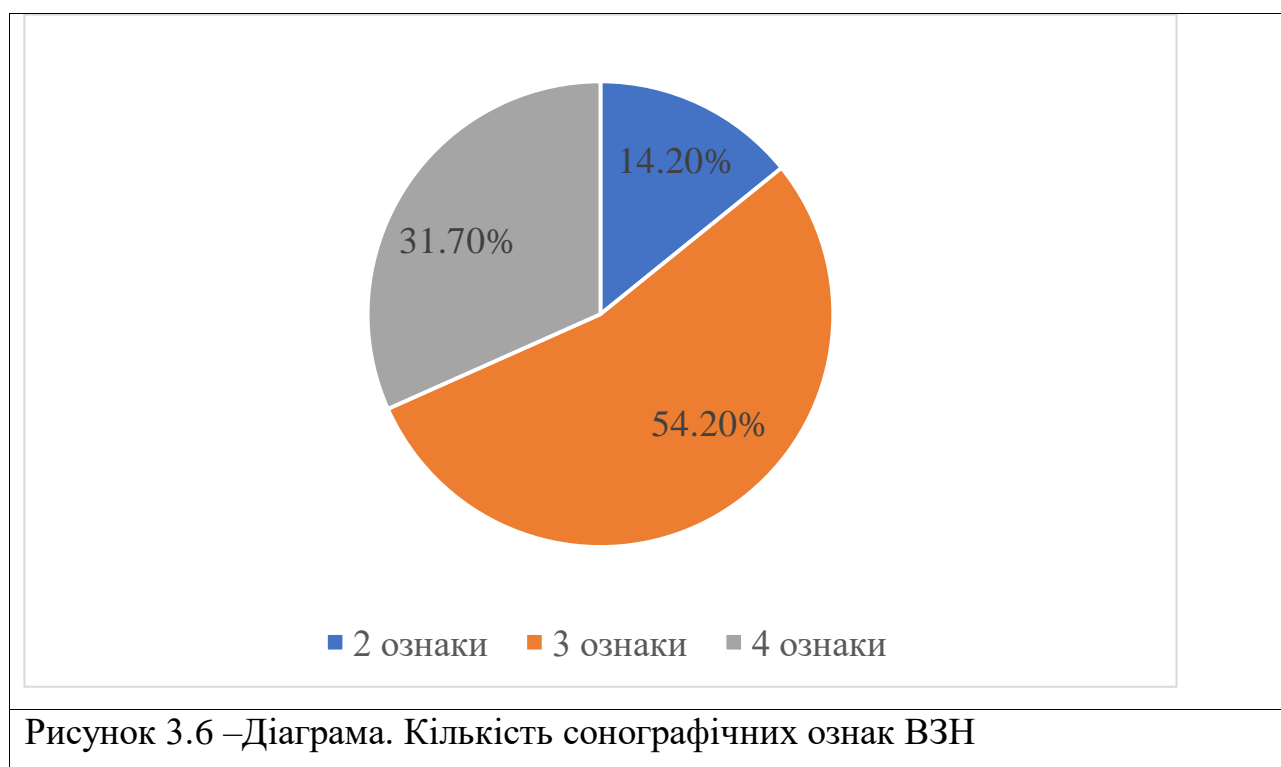


Рисунок 3.5 – Діаграма. Частота сонографічних змін ВЗН

Аналіз поєднання сонографічних ознак показав, що в більшості пацієнтів виявляли не ізольовані, а комбіновані зміни. Дві патологічні ознаки визначали у 17 (14,2%) пацієнтів, три – у 65 (54,2%), чотири – у 38 (31,7%). Таким чином, у 103 (85,9%) пацієнтів реєстрували три або чотири патологічні ультразвукові ознаки, що свідчить про комплексний характер структурних змін власної зв'язки наколінка (Рис. 3.5-3.6.).

Найчастіше виявляли поєднання змінених контурів, зниженої ехогенності та підвищеної васкуляризації без збільшення товщини зв'язки – у 40 (33,3%) пацієнтів. У 38 (31,7%) випадках визначали всі чотири патологічні ультразвукові ознаки одночасно. Отримані дані свідчать, що найбільш типовими сонографічними проявами ТН є зміна контурів, зниження ехогенності та підвищення васкуляризації, тоді як збільшення товщини виявляється рідше.





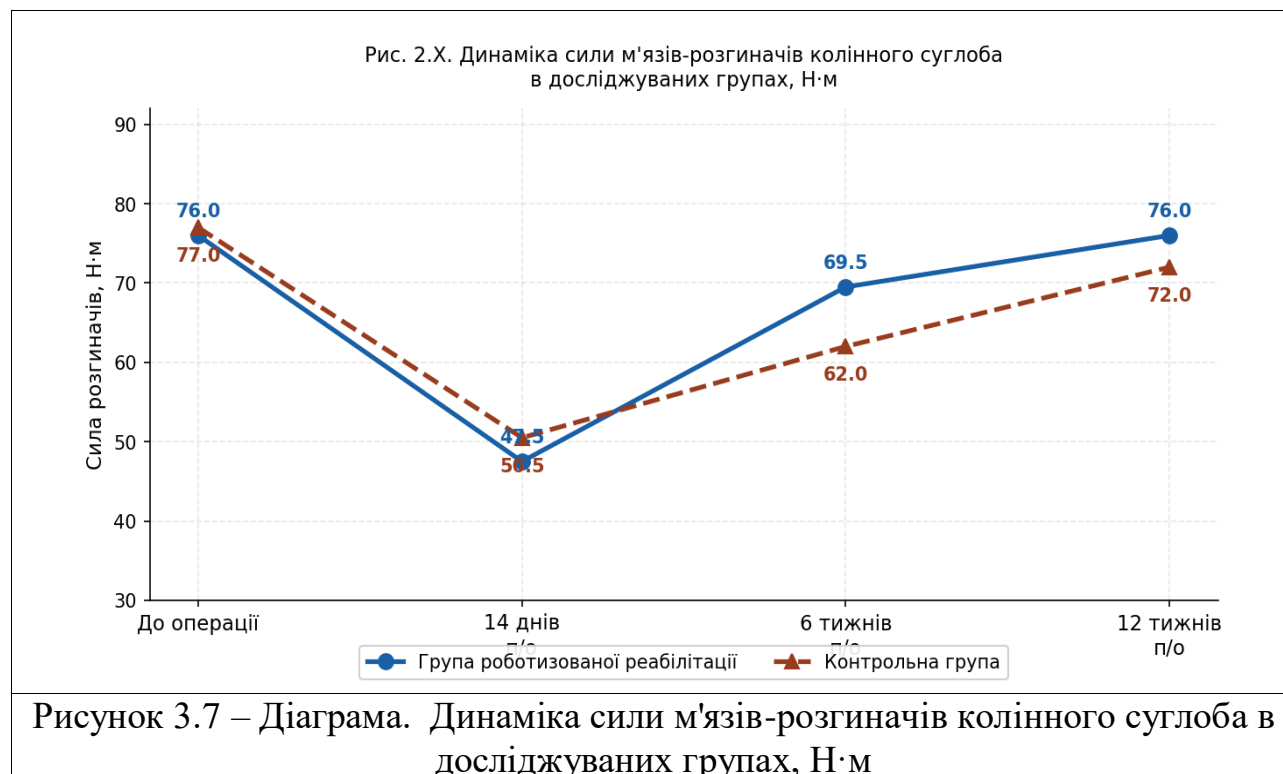
### 3.3. Дослідження сили м'язів

Оцінку сили м'язів-розгиначів КоС проводили за інтегрованими показниками діагностичної програми L-Force роботизованого ортеза Lokomat Pro. Аналіз виконували в обох досліджуваних групах у чотири контрольні терміни: до операції, через 14 днів після хірургічного втручання, через 6 тижнів та через 12 тижнів після операції. Величини подавали в Н·м. Зазначимо, що до 14-го дня після операції всі пацієнти перебували в однакових умовах раннього післяопераційного ведення, тому цей термін є вихідною точкою для порівняння ефективності програм фізичної терапії, як складової реабілітації.

У групі де застосовувалась роботизована техніка, медіана сили розгиначів до операції становила 76,0 Н·м, через 14 днів – 47,5 Н·м (зниження на 37,5%), через 6 тижнів – 69,5 Н·м (приріст на 46,3% порівняно з 14-м днем), через 12 тижнів – 76,0 Н·м (приріст на 60,0% порівняно з 14-м днем). Через 6 тижнів показник залишався на 8,6% нижчим, ніж до операції, тоді як через 12 тижнів фактично досягав доопераційного рівня.

У контрольній групі медіана сили розгиначів до операції становила 77,0 Н·м, через 14 днів – 50,5 Н·м (зниження на 34,4%), через 6 тижнів – 62,0 Н·м

(приріст на 22,8%), через 12 тижнів – 72,0 Н·м (приріст на 42,6% порівняно з 14-м днем). Через 12 тижнів після операції медіана залишалася на 6,5% нижчою за доопераційний рівень, що свідчило про неповне відновлення сили розгиначів. Результати наведено на рисунку 3.7.



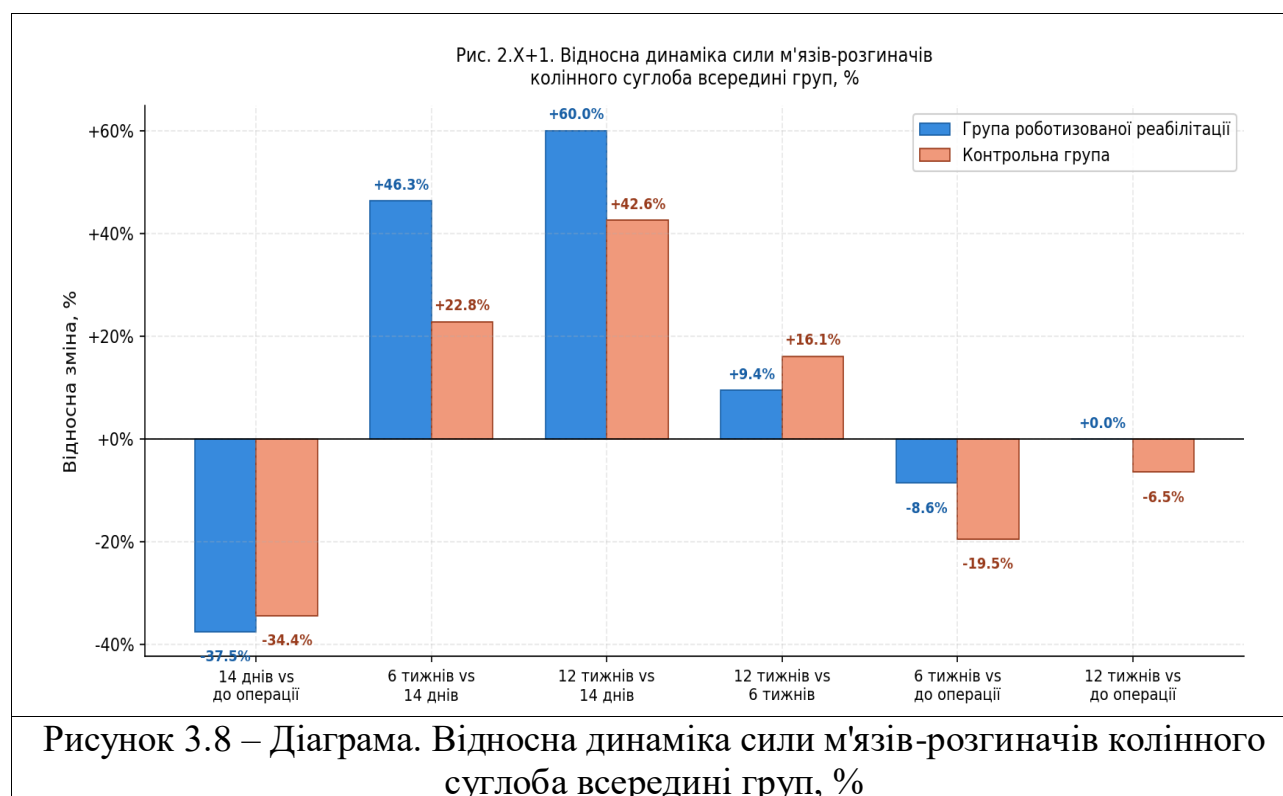
Порівняльний міжгруповий аналіз показав відсутність статистично значущих відмінностей до операції (76,0 vs 77,0 Н·м;  $p = 0,929$ ) та на 14-й день (47,5 vs 50,5 Н·м;  $p = 0,114$ ), що є методологічно закономірним – диференційований вплив фізичної терапії на цьому етапі ще не був реалізований. Через 6 тижнів після операції в групі де застосовувалась роботизована техніка, показник був на 12,1% вищим, ніж у контрольній (69,5 vs 62,0 Н·м;  $p < 0,001$ ); через 12 тижнів – на 5,6% вищим (76,0 vs 72,0 Н·м;  $p = 0,011$ ). Динаміку показників наведено в таблицях 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1

Динаміка сили м'язів-розгиначів колінного суглоба в досліджуваних групах

Термін обстеження	Група дослідження, Н·м	Група порівняння, Н·м	p	Різниця між групами, %
До операції	76,0	77,0	0,929	-1,3
Через 14 днів після операції	47,5	50,5	0,114	-5,9
Через 6 тижнів після операції	69,5	62,0	< 0,001	+12,1
Через 12 тижнів після операції	76,0	72,0	0,011	+5,6

Внутрішньогруповий аналіз підтвердив статистично значущий вплив фактора часу на показники сили розгиначів в обох групах. У групі роботизованої фізичної терапії всі попарні порівняння були значущими, за винятком порівняння доопераційного рівня з 12-м тижнем ( $p = 0,081$ ), що підтверджує фактичне повернення до вихідних значень. У контрольній групі значуща різниця зберігалася навіть між доопераційним рівнем і 12-м тижнем ( $p < 0,001$ ), що вказує на неповне відновлення сили.



Таблиця 3.2

Відносна динаміка сили м'язів-розгиначів колінного суглоба всередині груп

Порівняння	Група дослідження, %	Група порівняння, %
14-й день після операції порівняно з доопераційним рівнем	-37,5	-34,4
6 тижнів порівняно з 14-м днем	+46,3	+22,8
12 тижнів порівняно з 14-м днем	+60,0	+42,6
12 тижнів порівняно з 6-м тижнем	+9,4	+16,1
6 тижнів порівняно з доопераційним рівнем	-8,6	-19,5
12 тижнів порівняно з доопераційним рівнем	0,0	-6,5

Таким чином, в обох групах після операції відзначалося виражене раннє зниження сили розгиначів із подальшим поступовим відновленням. У групі роботизованої фізичної терапії темпи відновлення були вищими: через 6 тижнів сила розгиначів перевищувала контрольну на 12,1%, через 12 тижнів – на 5,6%; до кінця спостереження показник повертався до доопераційного рівня, тоді як у контрольній групі залишався нижчим за нього. Це свідчить про більшу ефективність програми фізичної терапії із застосуванням РО щодо відновлення сили розгинального апарату.

### **3.4. Дослідження вегетативних змін нижньої кінцівки**

Оцінку вегетативної нервової регуляції проводили на підставі аналізу ритмограм і патернів вегетативної регуляції в чотири контрольні терміни: до операції, через 14 днів, через 6 тижнів та через 12 тижнів після хірургічного втручання. До операції в усіх пацієнтів обох груп визначався ейтонічний тип вегетативної регуляції та ритмограма I класу, що свідчило про збалансований вегетативний статус і співставність груп до початку лікування.

Через 14 днів після операції в обох групах спостерігали однотипні зміни: повне зникнення ейтонії, переважання симпатикотонії та появу ритмограм II і III класів. У групі роботизованої фізичної терапії симпатикотонію виявляли у 42 (70,0%) пацієнтів, парасимпатикотонію – у 18 (30,0%); ритмограму II класу – у 42 (70,0%), III класу – у 18 (30,0%). У контрольній групі відповідні показники становили: симпатикотонія – 44 (73,3%), парасимпатикотонія – 16 (26,7%); ритмограма II класу – 46 (76,7%), III класу – 14 (23,3%). Статистично значущих міжгрупових відмінностей не встановлено, що є методологічно закономірним, оскільки диференційований вплив фізичної терапії на цьому етапі ще не розпочинався.

Через 6 тижнів після операції в групі роботизованої фізичної терапії відзначалося виражене відновлення ейтонічного типу регуляції: ейтонію виявляли у 44 (73,3%) пацієнтів, симпатикотонію – у 10 (16,7%), парасимпатикотонію – у 6 (10,0%); ритмограму I класу – у 45 (75,0%), II класу –

у 15 (25,0%), III класу – не визначали. У контрольній групі ейтонія визначалася лише у 21 (35,0%) пацієнта, симпатикотонія зберігалася у 32 (53,3%); ритмограму I класу реєстрували у 21 (35,0%), II класу – у 31 (51,7%), III класу – у 8 (13,3%). Міжгрупова різниця на цьому етапі була статистично значущою.

Через 12 тижнів після операції позитивна динаміка в групі роботизованої фізичної терапії ставала ще більш вираженою: ейтонію визначали у 54 (90,0%) пацієнтів, симпатикотонію – у 6 (10,0%), парасимпатикотонія не реєструвалась; ритмограму I класу – у 54 (90,0%), II класу – у 6 (10,0%), III класу – не визначали. У контрольній групі ейтонія реєструвалась у 38 (63,3%), симпатикотонія – у 19 (31,7%), парасимпатикотонія – у 3 (5,0%); ритмограму I класу – у 31 (51,7%), II класу – у 28 (46,7%), III класу – у 1 (1,7%). Динаміку показників наведено в таблицях 3.3 та 3.4, та рисунках 3.9 відповідно.

Таблиця 3.3

Динаміка патернів вегетативної нервової регуляції в досліджуваних групах, n (%)

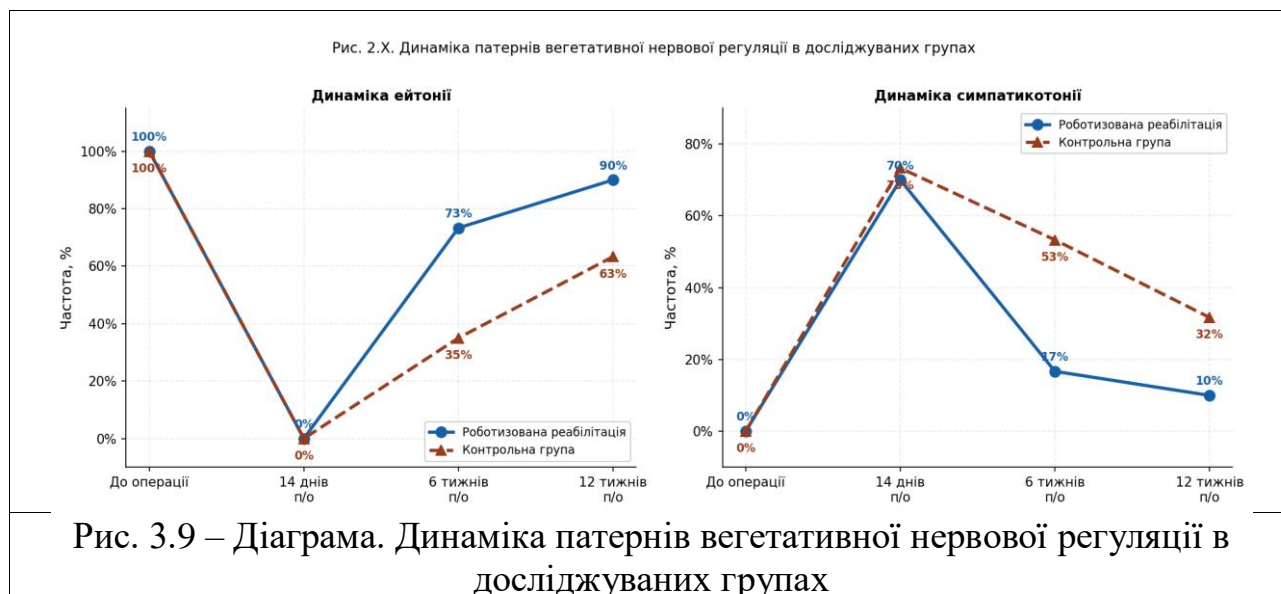
Термін обстеження	Патерн / Клас	Група роботизованої фізичної терапії (n=60)	Контрольна група (n=60)	P
До операції	Ейтонія	60 (100,0)	60 (100,0)	1,000
	Симпатикотонія	0 (0,0)	0 (0,0)	-
	Парасимпатикотонія	0 (0,0)	0 (0,0)	-
Через 14 днів після операції	Ейтонія	0 (0,0)	0 (0,0)	-
	Симпатикотонія	42 (70,0)	44 (73,3)	0,84
	Парасимпатикотонія	18 (30,0)	16 (26,7)	0,84
Через 6 тижнів після операції	Ейтонія	44 (73,3)	21 (35,0)	<0,001
	Симпатикотонія	10 (16,7)	32 (53,3)	<0,001

	Парасимпатикотонія	6 (10,0)	7 (11,7)	0,77
Через 12 тижнів після операції	Ейтонія	54 (90,0)	38 (63,3)	<0,001
	Симпатикотонія	6 (10,0)	19 (31,7)	<0,01
	Парасимпатикотонія	0 (0,0)	3 (5,0)	0,24

Таблиця 3.4

Динаміка типів ритмограм у досліджуваних групах, n (%)

Термін обстеження	Патерн / Клас	Група роботизованої фізичної терапії (n=60)	Контрольна група (n=60)	P
До операції	I клас	60 (100,0)	60 (100,0)	1,000
	II клас	0 (0,0)	0 (0,0)	-
	III клас	0 (0,0)	0 (0,0)	-
Через 14 днів після операції	I клас	0 (0,0)	0 (0,0)	-
	II клас	42 (70,0)	46 (76,7)	0,536
	III клас	18 (30,0)	14 (23,3)	0,536
Через 6 тижнів після операції	I клас	45 (75,0)	21 (35,0)	<0,001
	II клас	15 (25,0)	31 (51,7)	0,05
	III клас	0 (0,0)	8 (13,3)	0,06
Через 12 тижнів після операції	I клас	54 (90,0)	31 (51,7)	<0,001
	II клас	6 (10,0)	28 (46,7)	<0,001
	III клас	0 (0,0)	1 (1,7)	1,000



Таким чином, після артроскопії КоС в ранньому післяопераційному періоді в усіх пацієнтів розвивався вегетативний дисбаланс із переважанням симпатикотонії та напруженням регуляторних систем. Після початку диференційованого піходу в групі роботизованої фізичної терапії нормалізація вегетативного балансу відбувалася значно швидше і повніше: через 12 тижнів ейтонія та ритмограма І класу реєструвалися у 90,0% пацієнтів проти 63,3% і 51,7% у контрольній групі відповідно. Це свідчить про те, що застосування роботизованого ортеза сприяє більш ефективній нормалізації вегетативної нервової регуляції та покращенню адаптаційних можливостей організму.



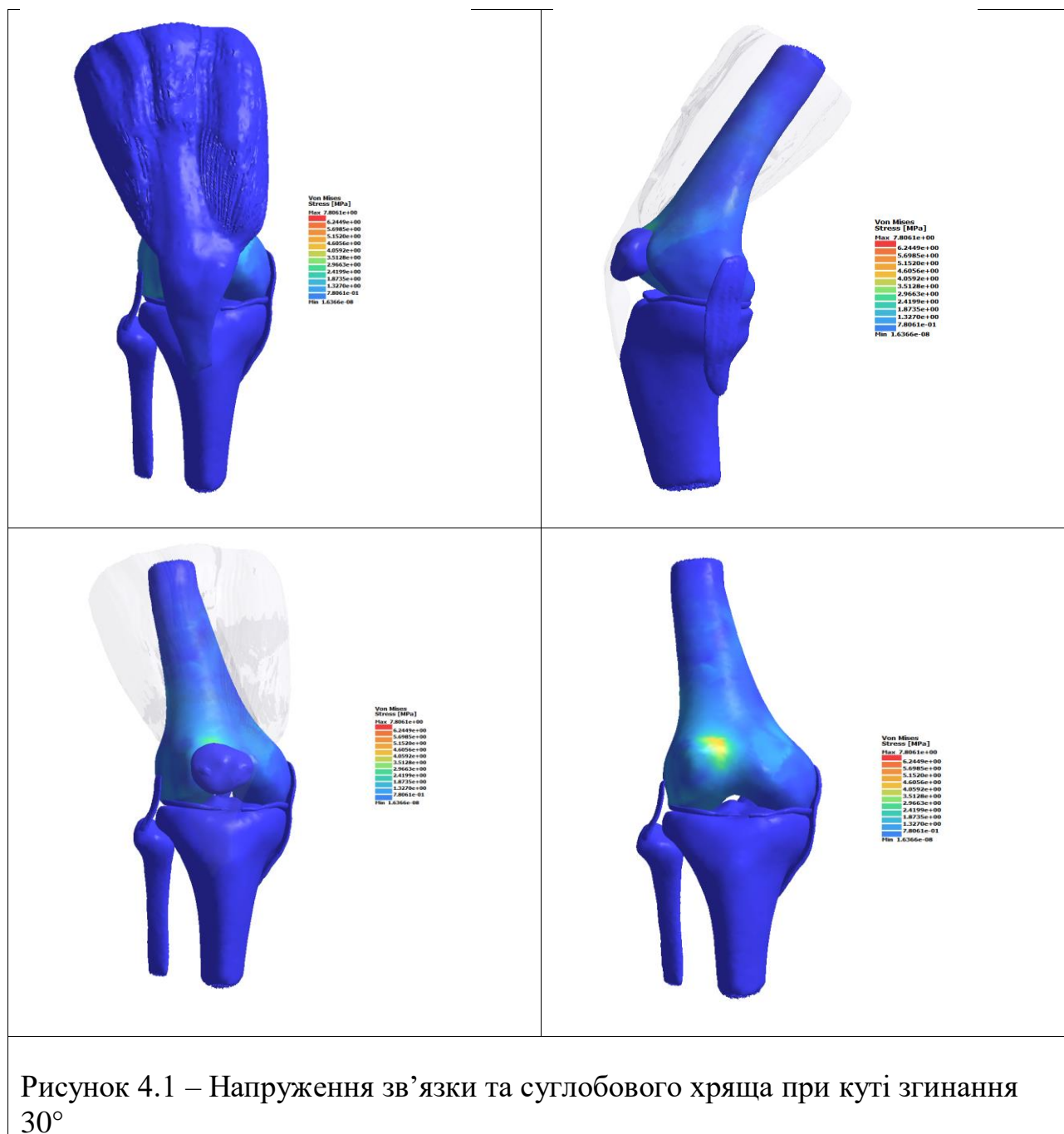
## РОЗДІЛ 4

### РЕЗУЛЬТАТИ БІОМЕХАНІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 4.1. Біомеханічне моделювання при куті згинання 30°

Аналіз розподілу еквівалентних напружень за Von Mises при куті згинання 30° показав, що більшість структур КоС перебуває в діапазоні низьких значень (0–1,5 МПа), що свідчить про ефективне розсіювання навантаження вздовж осі кістки. Напруження у власній зв'язці наколінка становило 1,3 МПа. Локальні піки напружень у діапазоні 2–4 МПа концентрувалися переважно в ділянці пателофemorального контакту та на ділянках геометричних переходів, де очікується підвищення контактного тиску внаслідок зміни жорсткості тканин. Поодинокі максимальні значення до 7,8 МПа виявлені на передньо-латеральній поверхні дистального відділу стегнової кістки та є локальними за характером, не свідчаючи про загальне перевантаження суглоба, що представлено на рисунку 3.1.

Аналіз контактних сил показав, що результуюча сила ЧМС становила 1575 Н, при цьому латеральна складова дорівнювала 520 Н, медіальна – 441 Н. Протидіюча сила, що виникає у ВЗН, становила 1109,5 Н, що відповідає приблизно 0,7 від результуючої сили ЧМС. Пателофemorальна контактна сила дорівнювала 440 Н. Згинально-крутний момент у зоні контакту був мінімальним, що відповідає відносно центральному розподілу навантаження без вираженого ексцентриситету. Отримані дані узгоджуються з літературними значеннями для помірного кута згинання та підтверджують стабільний стан пателофemorального комплексу в цьому положенні (Рис.4.1.).



#### 4.2. Біомеханічне моделювання при куті згинання 60°

При куті згинання 60° основний масив структур зберігав діапазон напружень 1–3 МПа, що свідчить про рівномірне осьове навантаження. Напруження у ВЗН зросло до 4,6 МПа порівняно з 1,3 МПа при 30°. У зоні пателофemorального контакту формувалася зона підвищених напружень до 5,5 МПа, що є закономірним наслідком збільшення кута згинання та більшого притискання наколінка до жолоба стегнової кістки. Крайові піки до 12 МПа

зосереджувались виключно в зоні контакту й швидко загасали вглиб тканини, не свідчаючи про системне перевантаження, що зображено на рисунку 4.2.

Результуюча сила ЧМС при  $60^\circ$  становила 2100 Н; латеральна складова – 693 Н, медіальна – 588 Н. Протидіюча сила у власній зв'язці наколінка дорівнювала 1785 Н, пателофеморальна контактна сила – 1470 Н. Момент у зоні контакту зріс до 1,83 Н·м порівняно з мінімальним значенням при  $30^\circ$ , що вказує на появу відчутного ексцентриситету – зміщення контактної зони у бік жолоба стегнової кістки. Наколінок переміщувався дистально відповідно до напрямку результуючого моменту, представлено на рисунку 4.3.

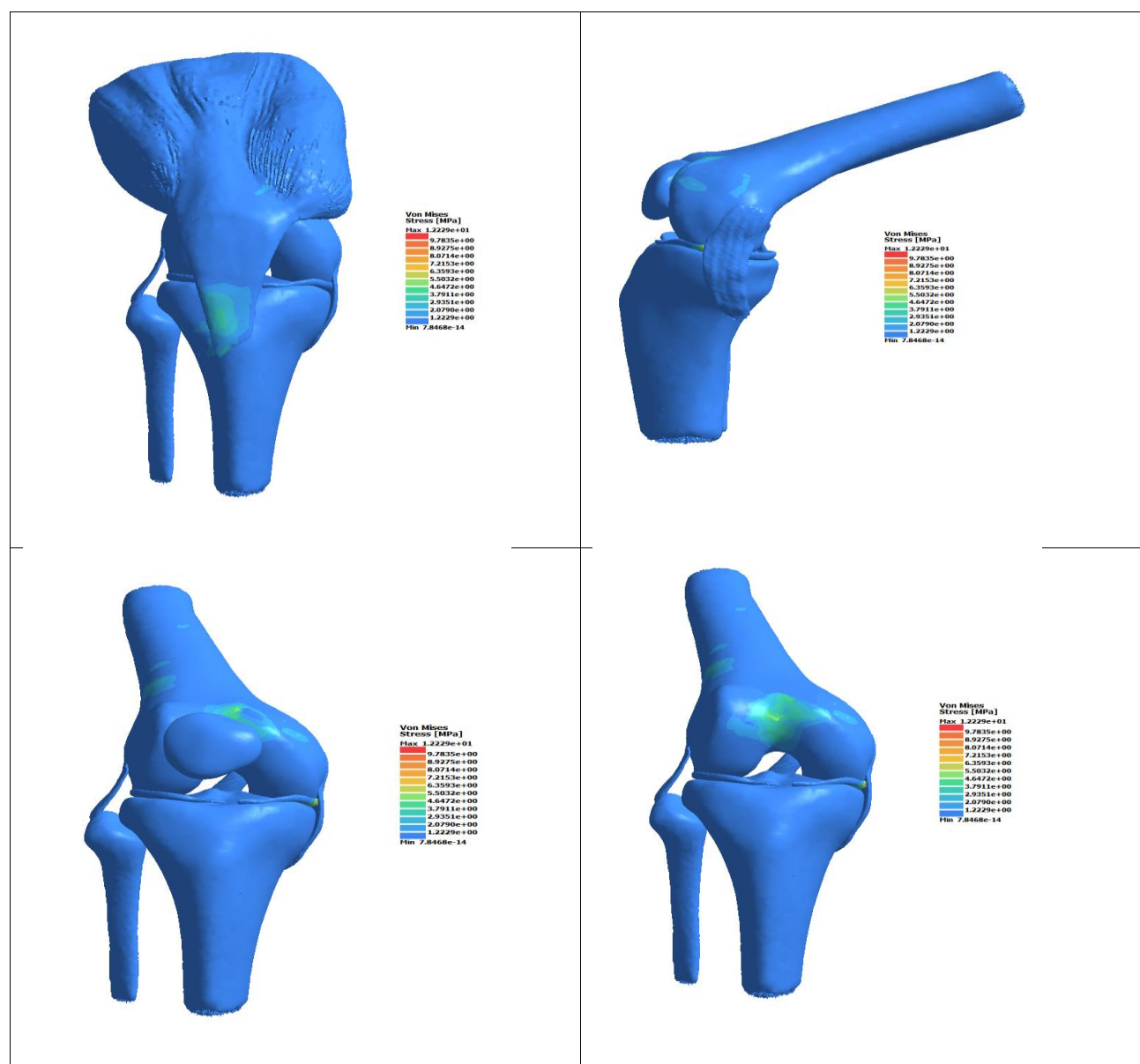
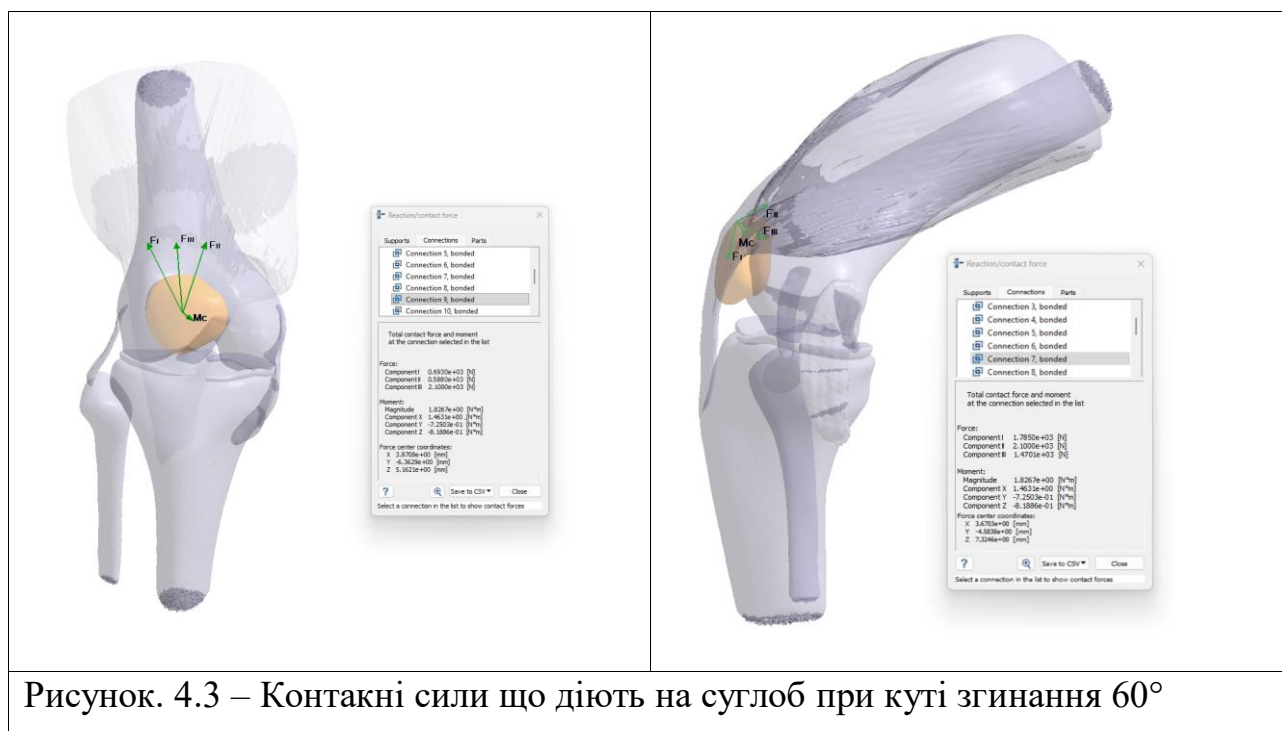


Рисунок 4.2 – Напруження зв'язки та суглобового хряща при куті згинання  $60^\circ$



#### 4.3. Біомеханічне моделювання при куті згинання 90°

При куті згинання 90° розподіл напружень за Von Mises характеризувався діапазоном від мінімальних значень, що практично дорівнювали нулю, до максимальних 7,3 МПа. Основний робочий діапазон напружень зосереджувався між 0,7 та 5,5 МПа з поступовими переходами між рівнями. Найвищі значення локалізувалися у зоні пателофemorального контакту (до 7,3 МПа), де сила ЧМС трансформувалася в контактне навантаження на жолоб стегнової кістки. Напруження у ВЗН становило 3,28 МПа, у суглобовому хрящі – 1,75–2,77 МПа. Діафізи стегнової та великогомілкової кісток залишалися переважно нижче 1 МПа, що підтверджує їх другорядну роль у передачі навантаження в цьому положенні.

Плавні градієнти між рівнями напружень та відсутність різких піків на краях контакту свідчать про коректно задані контактні умови та чисельну стабільність моделі. Максимальні значення близько 7 МПа залишаються в межах фізіологічно допустимих для кісткової тканини при помірних навантаженнях, що зображено на рисунку 4.4.

Результуюча сила ЧМС при 90° становила 2573 Н; латеральна складова – 849 Н, медіальна – 721 Н. Протидіюча сила у власній зв'язці наколінка

дорівнювала 2315 Н, пателофеморальна контактна сила – 2058 Н. Реакційна сила у зоні пателофеморального контакту становила 2,9 кН, загальна реакційна сила – 4,1 кН. Момент у зоні контакту наближався до нульового, що свідчить про переважно компресійний характер навантаження без значних крутних ефектів – при куті 90° наколінок досягає найбільшої стабільності у феморальній борозні.

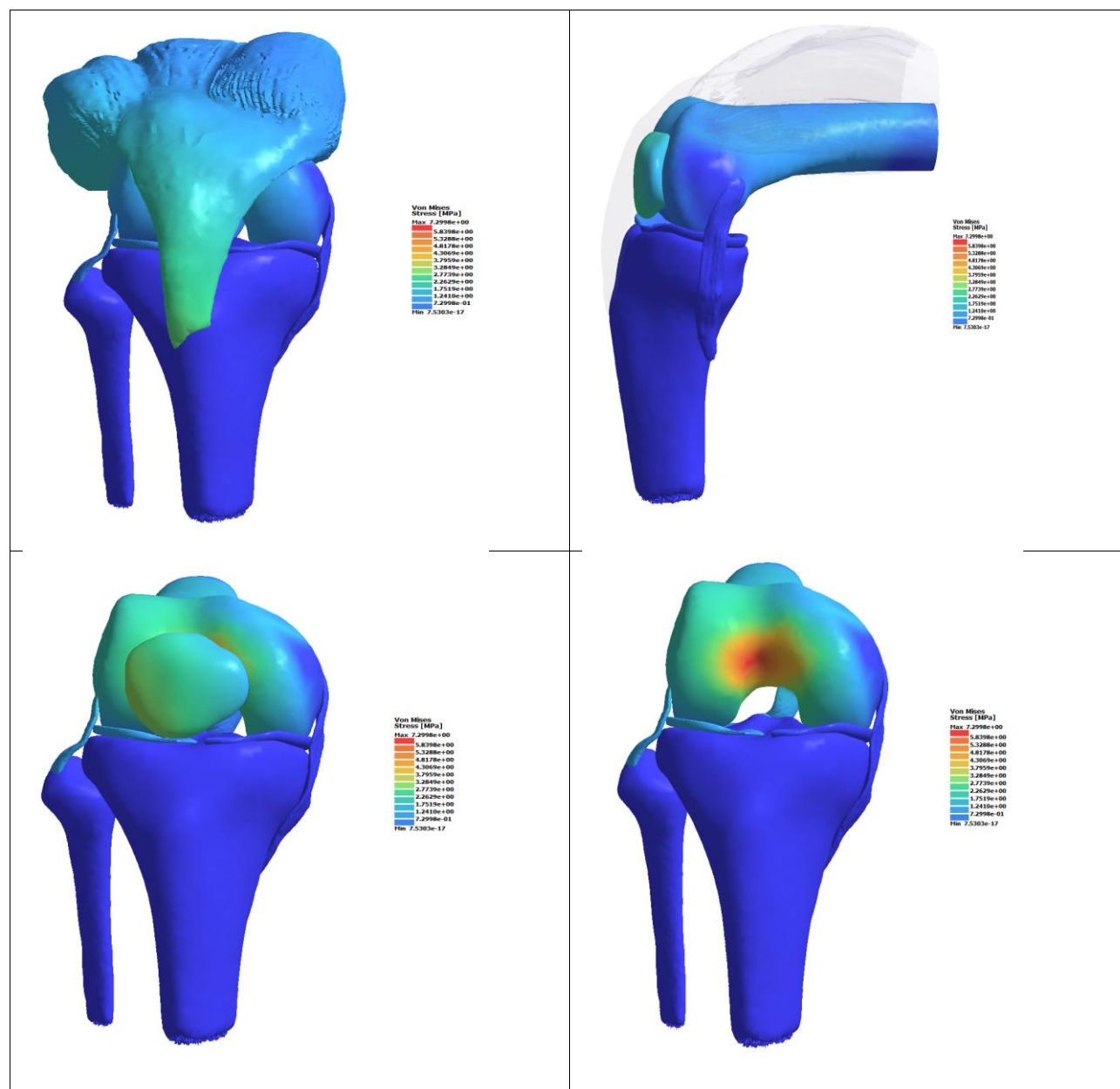


Рисунок 4.4 – Напруження зв'язки та суглобового хряща при куті згинання 90°

Реакційна сила 4,1 кН та 2,9 для пателофеморального суглоба при помітному згинанні (часто 3–5 кН, тобто приблизно 3–4× маси тіла, що діє через

квадрицепс). 2,9 кН (рис. праворуч) означає, що навантаження розподіляється між декількома поверхнями/з'єднаннями.

Моменти – практично нульові, тобто контакт працює переважно силою без значних крутних ефектів. При куті 90 градусів створюється найбільша стабільність наколінка.

Значення сили добре співвідноситься з тим, що ми бачили у полях Von Mises (пік  $\sim 7,3$  МПа) – це узгоджена, «фізіологічна» картина. Латеральна сила має значення 849 Н, медіальна складова складає 721 Н. Результируюча усіх сил квадрицепса, виходячи з фізико-механічних властивостей, становить 2573 Н. Сила яка виникає у зв'язці як протидія, становить 2315 Н. Наколінок знаходиться в феморальній борозні, при згинанні, рухається донизу. Патело-феморальна сила яка діє, становить 2058 Н, зображено на рисунку 4.5.



#### 4.4. Біомеханічне моделювання при куті згинання 30° в умовах гіпотрофії квадрицепса

В умовах змодельованої гіпотрофії ЧМС (зниження медіальної складової сили на 50%) при куті згинання 30° розподіл напружень за Von Mises характеризувався значеннями в діапазоні від мінімальних до максимальних 4,6 МПа. Напруження у ВЗН становило 2,4 МПа, що майже вдвічі перевищує відповідне значення фізіологічної моделі (1,3 МПа). У зоні виростка стегнової

кістки формувалася компактний осередок підвищених напружень 3,0–3,7 МПа з локальним піком до 4,6 МПа, який порівняно з нормою був зміщений у латеральну сторону. На великогомілковій кістці зберігався осередок підвищених значень (1,7–4,0 МПа) у передньо-латеральному секторі в зоні дії тягнучого компонента зв'язки. Більша частина діафізів залишалася в діапазоні близько 1,1 МПа, що свідчить про рівномірну передачу навантаження вздовж осі кісток поза суглобовими зонами.

Контактний аналіз виявив виражену асиметрію м'язових сил: латеральна складова квадрицепса становила 621,4 Н, медіальна – лише 221 Н (співвідношення 2,8:1 проти 1,2:1 у нормі). Результируюча сила ЧМС дорівнювала 1575 Н, протидіюча сила у ВЗН – 1341 Н, пателофеморальна контактна сила – 605 Н. Реакційна сила в зоні контакту становила 2,2 кН. Характерним для умов гіпотрофії став згинально-крутний момент 9,4 Н·м, зумовлений ексцентричним положенням результируючої сили відносно центру суглоба. Наколінок переміщувався проксимально – на відміну від дистального напрямку в нормі, що є прямим наслідком латералізації контактної зони, представлено на рисунку 4.7. та 4.8.



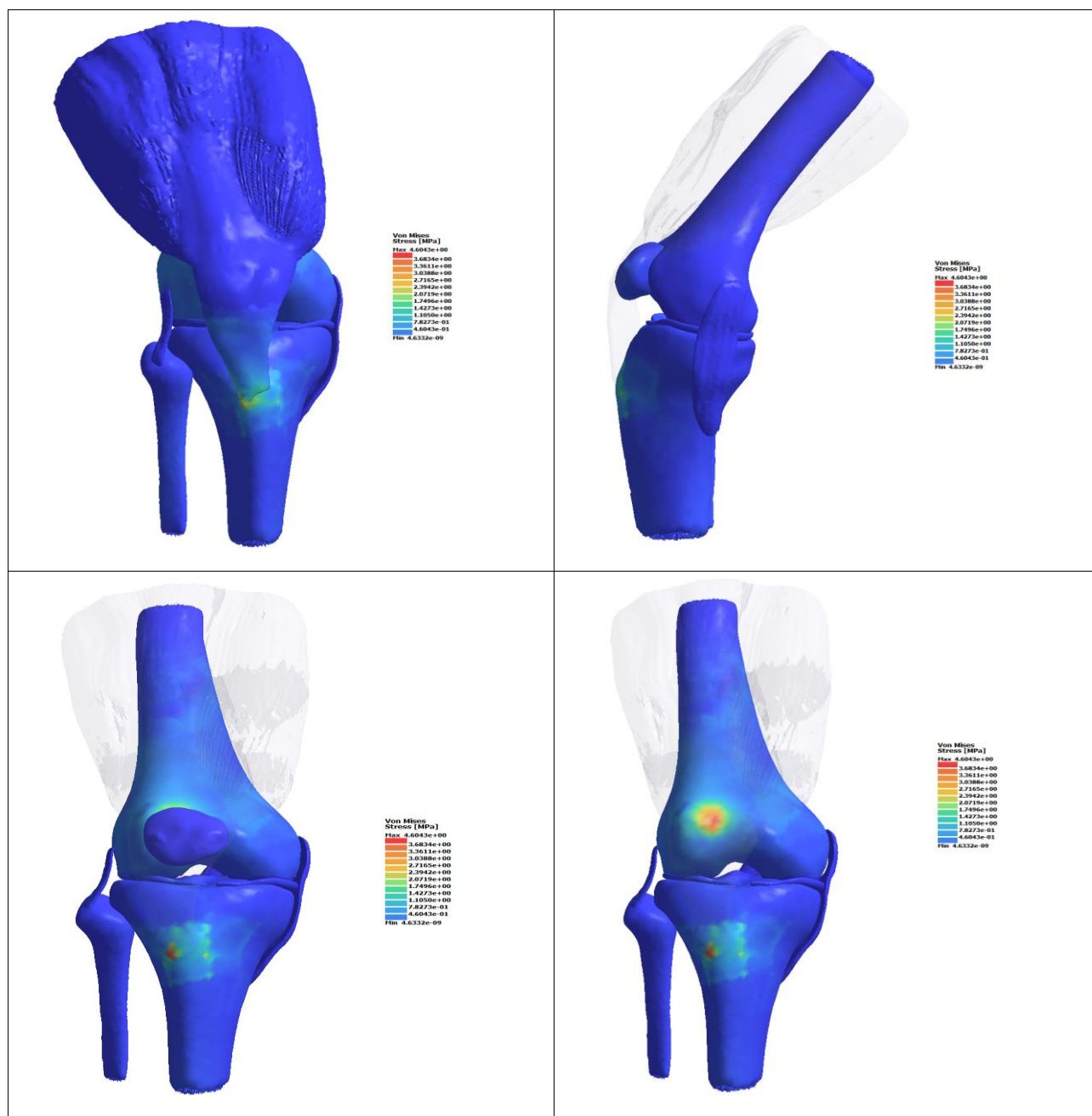


Рисунок 4.6 – Напруження зв'язки та суглобового хряща в умовах гіпотрофії ЧМС при куті згинання 30°





#### 4.5. Біомеханічне моделювання при куті згинання 60° в умовах гіпотрофії квадрицепса

При куті згинання 60° в умовах гіпотрофії ЧМС більшість кісткових структур перебувала в діапазоні 1,3–3,1 МПа. Проте зони пателофemorального контакту та передньої поверхні дистального відділу стегнової кістки демонстрували значно вищі значення: 6,8–9,6 МПа із локальними піками до 13,1 МПа. Напруження у ВЗН становило 6,8 МПа, що в 1,5 раза перевищує відповідне значення фізіологічної моделі при тому ж куті (4,6 МПа). Плавні переходи між рівнями напружень та відсутність різких піків на краях моделі свідчать про коректні контактні умови та чисельну стабільність результатів.

Результуюча сила ЧМС при 60° в умовах гіпотрофії становила 2100 Н; латеральна складова – 827 Н, медіальна – 294 Н (співвідношення 2,8:1). Реакційна сила у зв'язці дорівнювала 2078 Н, пателофemorальна контактна сила – 1764 Н. Момент у зоні контакту становив 2,78 Н·м із компонентами по трьох осях, що свідчить про формування комбінованого згинально-крутного ефекту, здатного посилювати локальні напруження. Зміщення точки

прикладання результуючої сили відносно геометричного центру контакту узгоджується з латеральною тенденцією наколінка (рис.4.8-4.9).

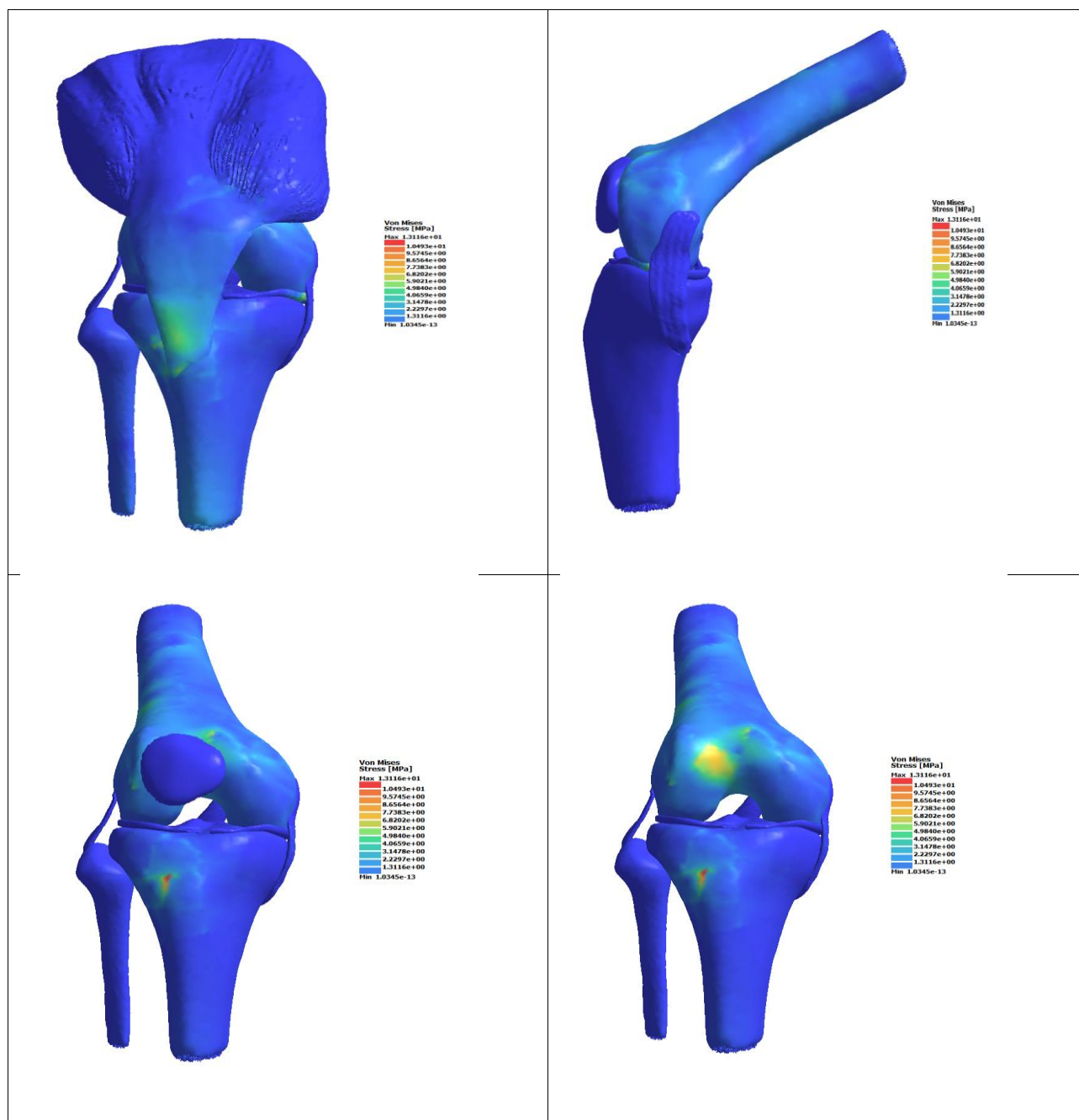


Рисунок 4.8 – Напруження зв'язки та суглобового хряща в умовах гіпотрофії ЧМС при куті згинання  $60^\circ$



Рисунок 4.9 – Контактні сили що діють на суглоб в умовах гіпотрофії ЧМС при куті згинання  $30^\circ$

#### 4.6. Біомеханічне моделювання при куті згинання $90^\circ$ в умовах гіпотрофії квадрицепса

При куті згинання  $90^\circ$  в умовах гіпотрофії квадрицепса максимальні напруження концентрувалися в ділянці прикріплення ВЗН до великогомілкової кістки та в зоні пателофеморального контакту, досягаючи 11,6 МПа. Це майже вдвічі перевищує відповідне значення фізіологічної моделі (7,3 МПа) при тому ж куті згинання. Уздовж тіла великогомілкової кістки напруження залишалися рівномірними й низькими (1–3 МПа). На задній поверхні наколінка в зоні пателофеморального контакту також визначалися підвищені значення 9–11,6 МПа, що узгоджувалося з піком на поверхні стегнової кістки.

Результуюча сила квадрицепса при  $90^\circ$  в умовах гіпотрофії становила 2573 Н; латеральна складова – 849 Н, медіальна – 721 Н. Протидіюча сила у ВЗН дорівнювала 2315 Н, пателофеморальна контактна сила — 2058 Н. Момент у зоні контакту становив 4,94 Н·м із суттєвими складовими по трьох осях, що свідчить про складний напружено-деформований стан контактної зони з комбінацією компресійних, згинальних і крутних ефектів. Переважання латеральної складової над медіальною пояснює зосередження максимальних напружень у латеральному відділі пателофеморального суглоба (рис.4.10-4.11).

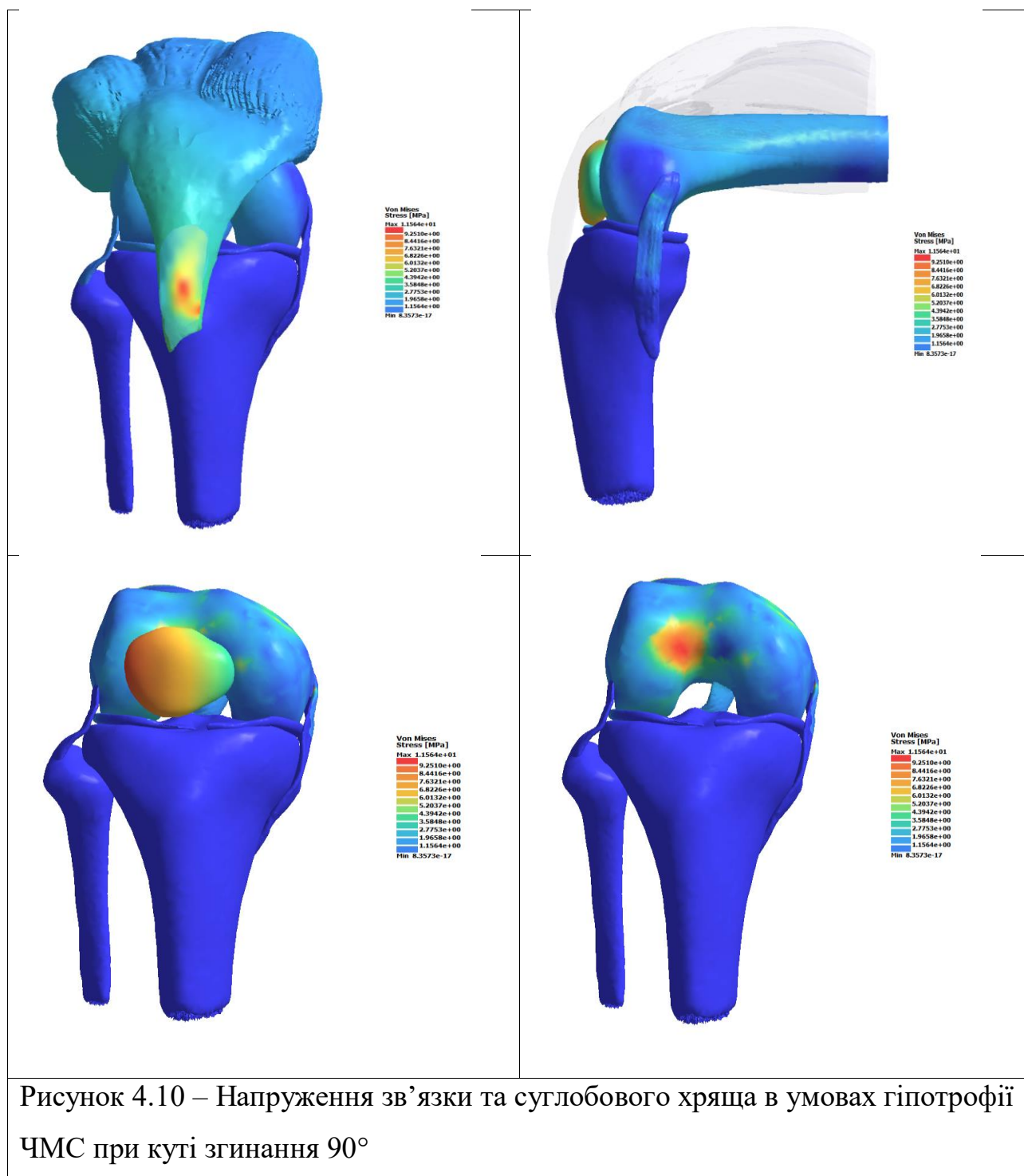


Рисунок 4.10 – Напруження зв'язки та суглобового хряща в умовах гіпотрофії ЧМС при куті згинання 90°

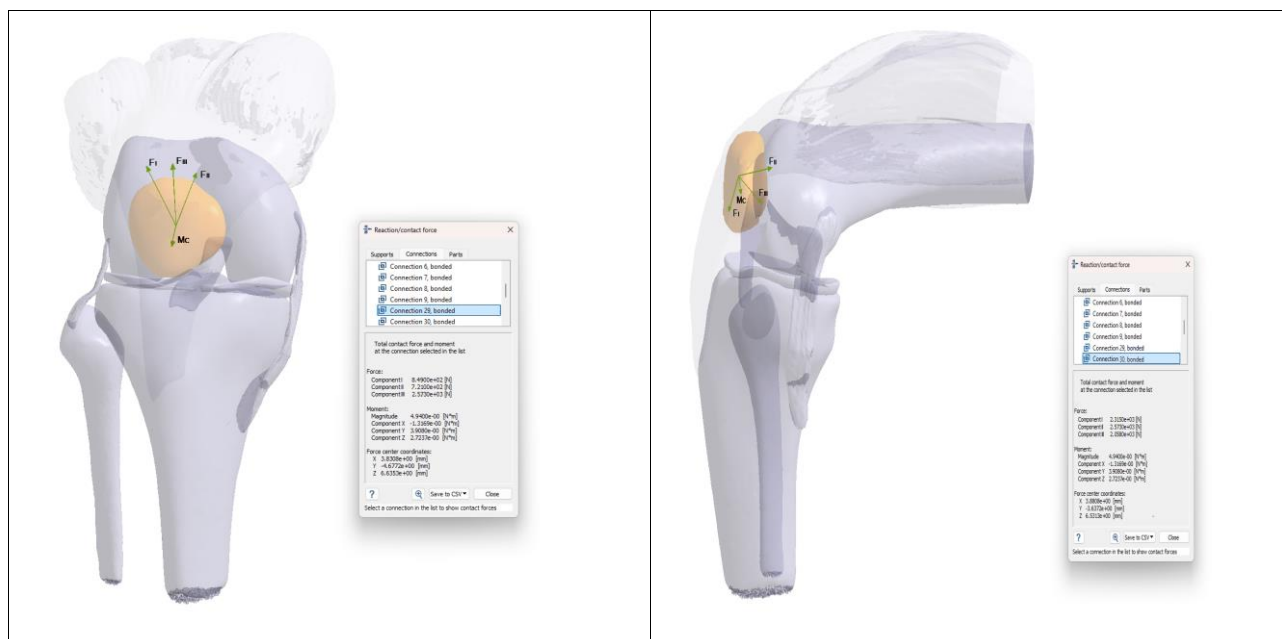


Рисунок 4.11 – Контактні сили що діють на суглоб в умовах гіпотрофії ЧМС при куті згинання 90°

#### 4.7. Порівняльний аналіз показників у досліджуваних групах

Чисельне моделювання КоС при кутах згинання 30°, 60° та 90° в нормі та в умовах гіпотрофії ЧМС дозволило кількісно оцінити закономірності розподілу напружень і контактних сил у пателофеморальному комплексі та ВЗН. У фізіологічній моделі зі зростанням кута згинання відзначалося закономірне підвищення напружень у ВЗН (від 1,3 МПа при 30° до 7,3 МПа при 90°) та контактних сил, що відповідає зростанню дії ЧМС та посиленню притискання наколінка до жолоба стегнової кістки. Усі значення напружень залишалися нижчими від критичних для кісткової та хрящової тканин.

В умовах гіпотрофії ЧМС спостерігався виражений перерозподіл навантаження з латералізацією контактної зони, підвищенням локальних піків напружень і формуванням ексцентричних моментів. Напруження у ВЗН зростало до 2,4 МПа при 30°, 6,8 МПа при 60° та 11,6 МПа при 90°, що у 1,5–1,8 раза перевищує відповідні значення фізіологічної моделі. Зростання моментів (від 9,4 Н·м при 30° до 4,94 Н·м при 90°) вказує на формування перекручувального та згинального ефекту в зоні прикріплення зв'язки, що є патогенетично значущим для розвитку ТН. Узагальнені дані наведено в таблицях 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1

Узагальнення показників напруження у власній зв'язці наколінка та пателофеморальному суглобі у функціональних положеннях колінного суглоба

Кут згинання	Власна зв'язка наколінка, норма	Пателофеморальний контакт, норма	Власна зв'язка наколінка, гіпотрофія	Пателофеморальний контакт, гіпотрофія
30°	1,3 МПа	2–4 МПа	2,4 МПа	3,0–3,7 МПа
60°	4,6 МПа	5,5 МПа	6,8 МПа	6,8–9,6 МПа
90°	7,3 МПа	7,3 МПа	11,6 МПа	11,6 МПа

Таблиця 4.2

Контактні сили у пателофеморальному комплексі у фізіологічній моделі та в умовах гіпотрофії квадрицепса

Ку т	Мед. (норма), Н	Лат. (норма), Н	Зв'язка (норма), Н	ПФ-зона (норма), Н	Мед. (гіпотр.), Н	Лат. (гіпотр.), Н	Зв'язка (гіпотр.), Н	ПФ-зона (гіпотр.), Н
30°	441	520	1110	440	221	621	1341	1200
60°	588	693	1785	1470	294	827	2078	1764
90°	721	849	2315	2058	361	849	2315	2058

#### 4.7. Висновки біомеханічного моделювання

Гіпотрофія ЧМС призводить до значного перерозподілу навантажень у пателофеморальному суглобі та ВЗН, що виявляється у вираженій латералізації контактної зони та підвищенні локальних піків напружень. При 30° згинання в умовах гіпотрофії латеральна складова (621,4 Н) переважала над медіальною (221 Н) у співвідношенні 2,8:1 проти 1,2:1 у нормі; напруження у власній зв'язці наколінка зростало з 1,3 до 2,4 МПа.

Зі збільшенням кута згинання в умовах гіпотрофії зростання напружень набувало патологічного характеру: при  $60^\circ$  напруження у зв'язці досягало 6,8 МПа з локальними піками в пателофemorальному відділі до 13,1 МПа; при  $90^\circ$  – 11,6 МПа, що у 1,5–1,8 раза перевищує відповідні значення фізіологічної моделі. Це свідчить про підвищений ризик хронічного перевантаження ВЗН та латеральних структур пателофemorального комплексу в умовах м'язового дисбалансу.

Гіпотрофія ВЗН супроводжується формуванням ексцентричних моментів (9,4 Н·м при  $30^\circ$ , 2,78 Н·м при  $60^\circ$ , 4,94 Н·м при  $90^\circ$ ), що вказує на розвиток перекручувального та згинального ефекту в зоні прикріплення ВЗН. Ці механічні умови є патогенетично значущими для мікротравматизації та хронізації ТН і обґрунтовують необхідність відновлення м'язового балансу як пріоритетного завдання фізичної терапії, як складової реабілітації, пацієнтів після артроскопічної резекції меніска КоС.



## РОЗДІЛ 5

### МЕТОДИКА ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ ПАЦІЄНТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РОБОТИЗОВАНОГО ОРТЕЗА

#### 5.1. Характеристика роботизованої системи Локомат

Роботизований ортез Локомат є системою апаратно-керованого тренування ходи, що поєднує бігову доріжку, динамічну систему підтримки маси тіла, керовані ортези для нижніх кінцівок, засоби біологічного зворотного зв'язку та інструменти оцінки параметрів локомоції. Система дозволяє відтворювати фізіологічно наближений патерн ходи, індивідуально регулювати параметри руху та дозувати навантаження відповідно до функціонального стану пацієнта. Основними перевагами системи є можливість проведення високоінтенсивного локомоторного тренування в умовах контрольованого навантаження, об'єктивний аналіз параметрів ходи та документування динаміки відновлення.



Рисунок 5.1 – Локомат

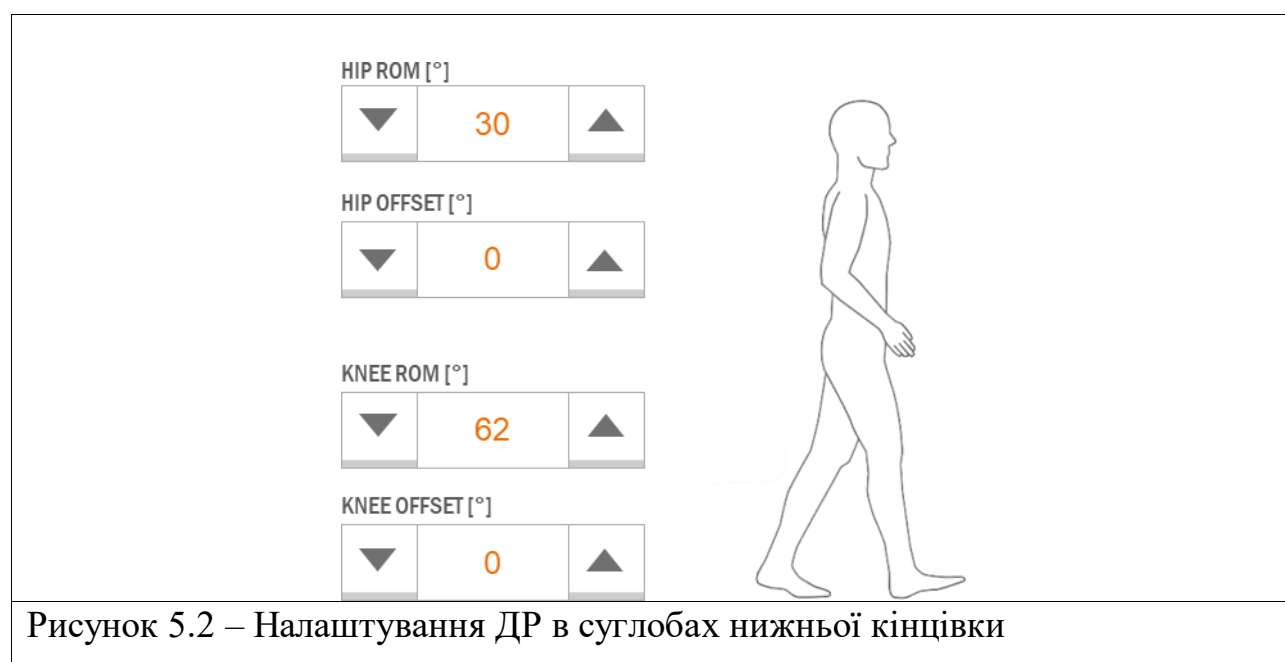
Система має технічні та антропометричні обмеження, які враховують під час відбору пацієнтів: зріст пацієнта – до 1,95 м, маса тіла – від 10 до 135 кг. Важливою умовою є точне суміщення осей шарнірів ортеза з анатомічними



осями руху в кульшових і колінних суглобах, що забезпечує коректне відтворення локомоторного циклу та безпечність терапії.

## 5.2. Параметри налаштування роботизованого ортеза

Функціонування роботизованого ортеза ґрунтується на відтворенні попередньо заданої моделі ходи, яка адаптується до індивідуальних особливостей пацієнта шляхом апаратного та програмного налаштування. Основними регульованими параметрами є: діапазон рухів (ДР) у кульшовому (КуС) та колінному суглобах (КоС), зміщення траєкторії руху, швидкість бігової доріжки, сила наведення та рівень підтримки маси тіла. Сукупність цих параметрів визначає кінематичні характеристики крокового циклу та ступінь активної участі пацієнта у виконанні руху.



Діапазон рухів у кульшовому суглобі визначає обсяг згинання та розгинання і безпосередньо впливає на довжину кроку. Додатково може налаштовуватися зміщення траєкторії в бік згинання або розгинання, що змінює момент первинного контакту стопи з опорною поверхнею та момент її відриву під час фази переносу: при зміщенні у бік згинання нога пацієнта довше перебуває у фазі переносу та торкається поверхні пізніше.

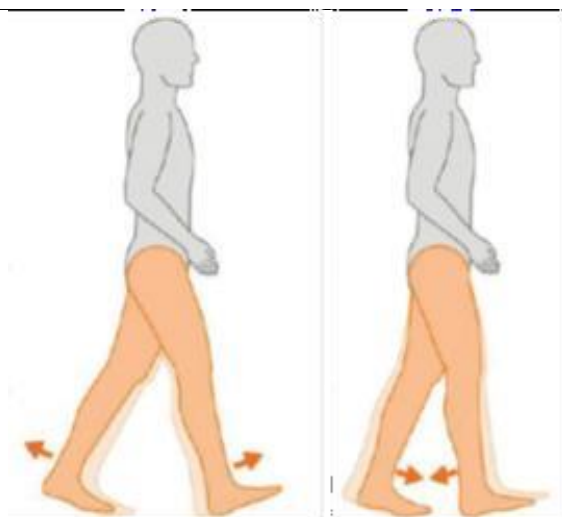


Рисунок 5.3 – Налаштування ДР в суглобах нижньої кінцівки

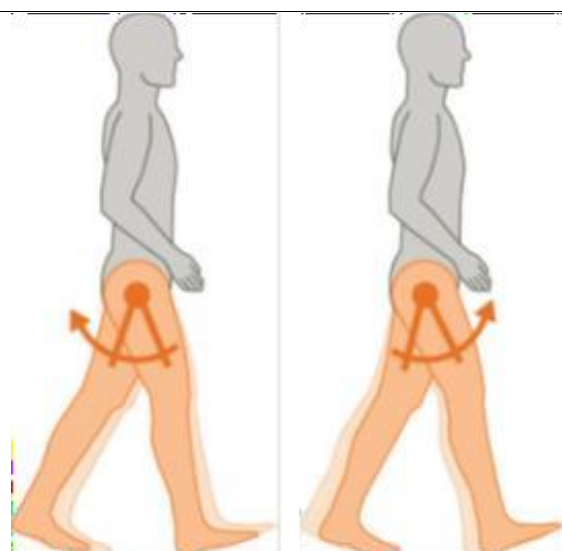


Рисунок 5.4 – Налаштування зміщення в КуС

Діапазон рухів у колінному суглобі визначає величину згинання коліна під час крокового циклу. Збільшення цього параметра покращує кліренс стопи у фазі переносу; окреме налаштування зміщення дозволяє обмежити повне розгинання для профілактики гіперекстензії. У пацієнтів після операцій на колінному суглобі контроль цих параметрів важливий, оскільки забезпечення достатньої амплітуди руху без надмірного навантаження на оперований сегмент має особливе клінічне значення.

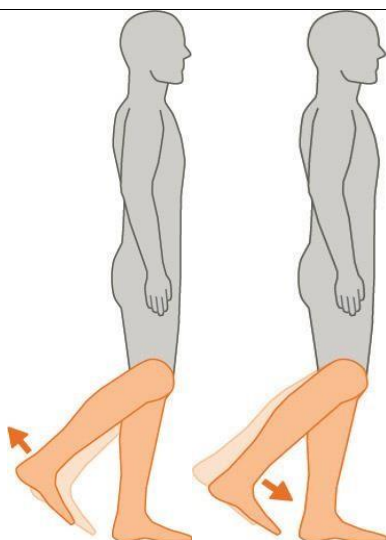


Рисунок 5.5 – Налаштування ДР у КоС

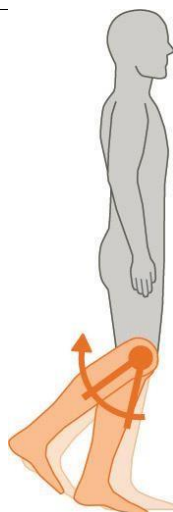


Рисунок 5.6 – Налаштування зміщення у колінному суглобі

Швидкість бігової доріжки визначає темп ходи та кількість повторень крокових циклів у межах одного сеансу. Нижчі значення швидкості використовують на початкових етапах терапії або при необхідності зосередитись на точності виконання руху та свідомій активації м'язів; вищі – для збільшення інтенсивності тренування, формування більш ритмічного локомоторного патерну та стимуляції нейропластичних змін шляхом збільшення кількості повторень.

Сила наведення (СН) відображає ступінь апаратної підтримки траєкторії руху. Її зменшення підвищує потребу в активній участі пацієнта, стимулює м'язову активність і формує варіативність рухового патерну. При значному

відхиленні від заданої траєкторії система автоматично зупиняється, що забезпечує безпеку тренування та стимулює рухове навчання.

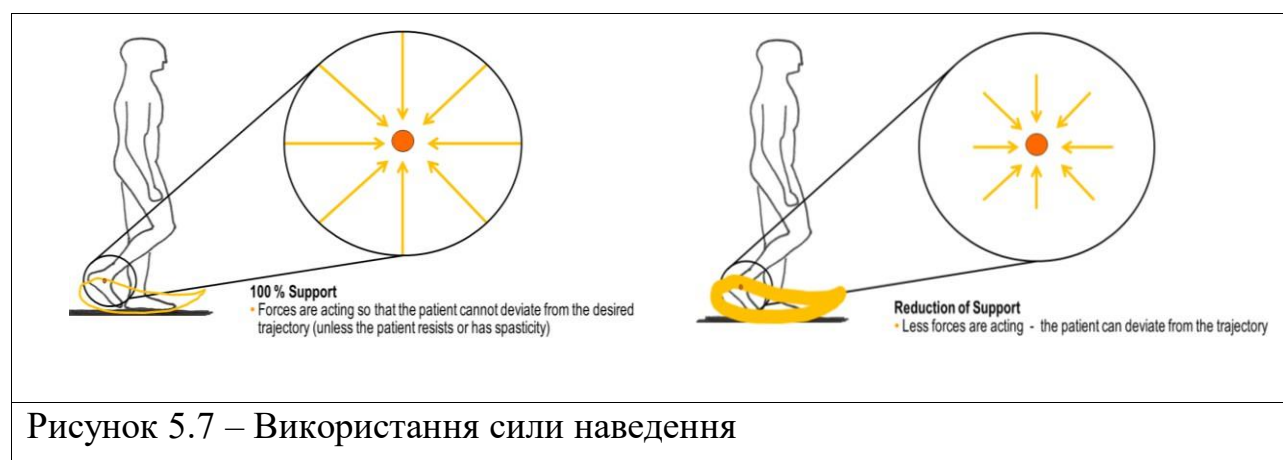


Рисунок 5.7 – Використання сили наведення

Підтримка маси тіла (ПМТ) дозволяє дозовано зменшити осьове навантаження на нижні кінцівки. У динамічному режимі система адаптується до вертикальних коливань тіла під час ходи, що забезпечує більш фізіологічне розвантаження та покращує умови сенсорної стимуляції. Застосування підтримки маси тіла є особливо важливим у ранні строки відновлення, коли необхідно зменшити навантаження на оперований суглоб при збереженні достатньої рухової активності пацієнта.

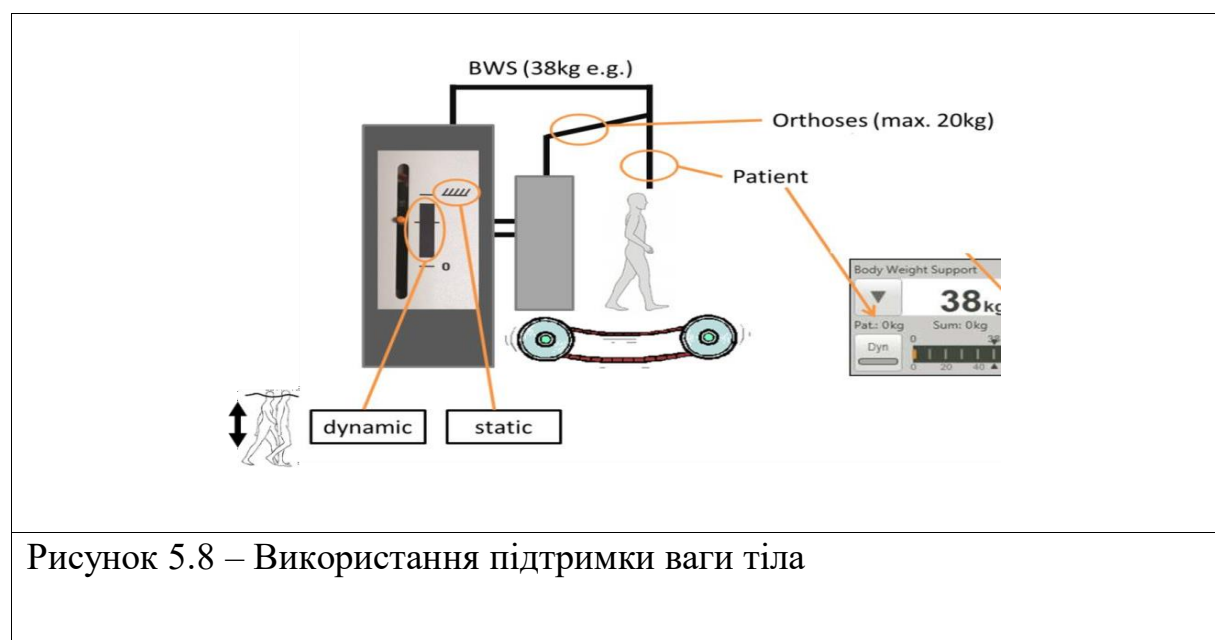


Рисунок 5.8 – Використання підтримки ваги тіла

### 5.3. Алгоритм застосування роботизованого ортеза

Алгоритм застосування РО включав чотири послідовні етапи.

### *1. Підготовчий етап.*

Проводили відбір пацієнтів з урахуванням показань і протипоказань до застосування роботизованого ортеза. Здійснювали індивідуальне налаштування апарата відповідно до антропометричних особливостей пацієнта та підбирали необхідні елементи ортопедичної фіксації, що забезпечувало коректну взаємодію між пацієнтом і системою.

### *2. Розміщення пацієнта в роботизованому ортезі.*

Здійснювали фіксацію пацієнта в роботизованому ортезі з подальшим поетапним налаштуванням системи. Особливу увагу приділяли точному суміщенню осей руху апарата з анатомічними осями руху нижніх кінцівок пацієнта, що забезпечувало правильне положення тіла, адекватну біомеханіку ходи та підвищувало ефективність лікування.

### *3. Проведення терапевтичного сеансу.*

Послідовно реалізовували три основні завдання: оцінку безпечності ходи та стабільності локомоторного циклу; корекцію параметрів системи для досягнення фізіологічного патерну ходи; адаптацію параметрів тренування до завдань конкретного сеансу з урахуванням клінічного стану пацієнта, переносимості навантаження та цілей фізичної терапії.

### *4. Завершення сеансу та виведення пацієнта з апарата.*

Пацієнта виводили з роботизованого ортеза у послідовності, зворотній до етапу розміщення. Такий підхід забезпечував безпечне завершення процедури та контроль стану пацієнта після локомоторного тренування.

## **5.4. Програма фізичної терапії із застосуванням роботизованого ортеза**

У пацієнтів після артроскопії колінного суглоба основними завданнями відновного лікування були безпечне відновлення ходи, збільшення діапазону рухів у колінному суглобі, зменшення больового синдрому, активація та зміцнення чотириголового м'яза стегна, а також покращення функціонального стану розгинального апарату колінного суглоба. Застосування роботизованого ортеза дозволяло реалізувати ці завдання завдяки контрольованому відтворенню

циклу ходи, індивідуально дозованим підтримці маси тіла та регуляції кінематичних і силових параметрів тренування.

Курс фізичної терапії із застосуванням роботизованого ортеза розпочинали на 14-й день після операції після клінічного огляду та оцінки загального стану пацієнта. Перед кожним сеансом проводили огляд післяопераційної ділянки, оцінювали вираженість болю, набряку та переносимість вертикального навантаження, після чого здійснювали фіксацію пацієнта в ортезі, калібрування системи та встановлення безпечних меж рухів. Зазначена часово відтермінована схема відповідає дизайну дослідження та не ототожнюється із загальними підходами до більш ранньої локомоторної активації після артроскопічних втручань.

Початкові сеанси проводили з помірною апаратною підтримкою, обмеженим діапазоном рухів і низькою швидкістю бігової доріжки, що дозволяло уникати надмірного згинання колінного суглоба та пікових навантажень у ранньому відновному періоді. Надалі параметри навантаження нарощували поступово: зменшували підтримку маси тіла, збільшували тривалість активної ходи, підвищували швидкість і розширювали діапазон рухів відповідно до динаміки клінічного стану, зменшення больового синдрому та покращення переносимості навантаження.

Після завершення кожного сеансу виконували додаткові терапевтичні вправи, спрямовані на активацію чотириголового м'яза стегна, покращення балансу та пропріоцепції. Моніторинг ефективності включав фіксацію параметрів ходи, оцінку больового синдрому за шкалою ВАШ, контроль набряку та загальної переносимості навантаження. Програму індивідуалізували відповідно до віку пацієнта, наявності супутніх станів та клінічного перебігу. Ключовими принципами залишалися безпека суглоба, контроль симптомів і поступове дозування навантаження.

### **5.5. Протокол курсу локомоторної терапії (15 сеансів)**

Курс локомоторної терапії із застосуванням роботизованого ортеза Locomat складався з 15 сеансів, розподілених упродовж чотирьох тижнів: 1–2-й

тижні – по 4 сеанси на тиждень, 3–4-й тижні – по 3–4 сеанси на тиждень відповідно до клінічного стану пацієнта. Курс поділявся на три фази по 5 сеансів із різними цілями та параметрами тренування.

Фаза I (сеанси 1–5) – адаптаційна: основна мета полягала у безпечному введенні пацієнта в локомоторне тренування, формуванні толерантності до вертикального навантаження та відтворенні базового патерну ходи. Застосовували максимальну підтримку маси тіла (40–50%), мінімальний діапазон рухів у колінному суглобі (0–40°), низьку швидкість (0,8–1,0 км/год) та високу силу наведення (80–100%). Тривалість активної ходи становила 10–15 хв.

Фаза II (сеанси 6–10) – функціональна: передбачала поступове нарощування навантаження, розширення діапазону рухів, зниження апаратної підтримки та активацію м'язів-розгиначів колінного суглоба. Підтримку маси тіла знижували до 20–30%, діапазон рухів розширювали до 0–70°, швидкість збільшували до 1,5–2,0 км/год, силу наведення – зменшували до 50–70%. Тривалість активної ходи – 20–25 хв.

Фаза III (сеанси 11–15) – зміцнювальна: спрямована на максимальне функціональне відновлення, формування стійкого рухового стереотипу та підготовку до самостійного навантаження. Підтримку маси тіла знижували до 10–20%, діапазон рухів – до 0–90°, швидкість – 2,0–2,5 км/год, силу наведення – 30–50%. Тривалість активної ходи – 25–30 хв. Детальні параметри кожного сеансу наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

**Параметри сеансів локомоторної терапії на роботизованому ортезі Locomat**

Сеанс	Тиждень	ПВТ, %	ДР КоС, °	Швидкість, км/год	СН, %	Тривалість ходи, хв	Основна мета сеансу
<b>Фаза І – Адаптаційна (сеанси 1–5): безпечне введення в локомоторне тренування, формування толерантності до вертикального навантаження</b>							
1	1	50	0–30°	0,8	100	10	Ознайомлення з апаратом, оцінка переносимості; мінімальне навантаження
2	1	50	0–35°	0,8	100	12	Адаптація до локомоторного циклу, контроль болю та набряку
3	1	45	0–40°	1,0	90	13	Збільшення ДР коліна, перевірка стабільності патерну ходи
4	1	45	0–40°	1,0	90	14	Закріплення патерну, початок активації розгиначів коліна
	2	40	0–45°	1,0	80	15	Завершення адаптаційної фази; оцінка стану перед збільшенням навантаження
<b>Фаза ІІ – Функціональна (сеанси 6–10): нарощування навантаження, активація квадрицепса, розширення діапазону рухів</b>							
6	2	35	0–50°	1,5	70	18	Збільшення швидкості та ДР; акцент на активну участь пацієнта
7	2	30	0–55°	1,5	70	20	Зниження апаратної підтримки;



							стимуляція нейром'язової активації
8	2	30	0– 60°	1,8	60	22	Подальше розширення ДР; акцент на контроль кута згинання коліна
9	3	25	0– 65°	2,0	60	23	Збільшення інтенсивності; оцінка м'язової відповіді та болю
10	3	20	0– 70°	2,0	50	25	Завершення функціональної фази; оцінка динаміки сили розгиначів
<b>Фаза III – Зміцнювальна (сеанси 11–15): формування стійкого рухового стереотипу, максимальне функціональне відновлення</b>							
11	3	20	0– 75°	2,0	50	25	Консолідація досягнутого патерну ходи; збільшення активного компонента
12	3	15	0– 80°	2,2	40	27	Наближення до фізіологічного діапазону рухів; зниження апаратної частки
13	4	15	0– 85°	2,2	40	28	Акцент на пропріоцепцію та баланс; мінімальна апаратна підтримка
14	4	10	0– 90°	2,5	30	30	Максимальний ДР; підготовка до самостійного навантаження

15	4	10	0–90°	2,5	30	30	Завершальний сеанс; підсумкова оцінка функціонального стану
----	---	----	-------	-----	----	----	---

Примітки: ПВТ – підтримка ваги тіла; ДР КоС – діапазон рухів у колінному суглобі; СН – сила наведення. Усі параметри є орієнтовними та підлягають індивідуальному коригуванню залежно від переносимості навантаження, вираженості больового синдрому та клінічної динаміки пацієнта. Критерієм для переходу між фазами є відсутність підвищення болю за ВАШ понад 3 бали під час і після сеансу.

Кожен сеанс локомоторної терапії складався з трьох послідовних частин. Підготовча частина (5–7 хв) включала: огляд колінного суглоба, оцінку болю за ВАШ, набряку та загального стану; налаштування параметрів апарата відповідно до фази лікування та поточного стану пацієнта; фіксацію пацієнта в ортезі та калібрування системи.

Основна частина (10–30 хв залежно від фази) передбачала активну локомоторну терапію на роботизованому ортезі з поступовим нарощуванням тривалості та інтенсивності відповідно до протоколу. Під час ходи терапевт здійснював безперервний моніторинг больового синдрому, якості патерну ходи та активності пацієнта.

Завершальна частина (10–15 хв) включала: виведення пацієнта з апарата; вправи для активації чотириголового м'яза стегна (ізометричні скорочення, підйом випрямленої ноги – 3×10–15 повторень); вправи на баланс і пропріоцепцію (стояння на оперованій кінцівці з контролем дзеркала – 3×20–30 с); оцінку стану після сеансу та рекомендації до наступного відвідування.

## 5.6. Диференційовані програми локомоторної терапії залежно від провідного клінічного дефіциту

Аналіз клінічного перебігу тендинопатії власної зв'язки наколінка у пацієнтів, включених у дослідження, виявив суттєву неоднорідність функціонального дефіциту: в одних хворих провідною проблемою було

виражене зниження сили м'язів-розгиначів колінного суглоба, в інших – порушення нейром'язового контролю та координації патерну ходи, у третіх – зниження функціональної витривалості у поєднанні зі стійким больовим синдромом. Ця клінічна гетерогенність зумовлювала необхідність диференційованого підходу до побудови програми локомоторної терапії з урахуванням провідного дефіциту кожного конкретного пацієнта.

З метою індивідуалізації програми відновного лікування пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка після артроскопічної резекції меніска було виділено три клінічні підгрупи залежно від провідного функціонального дефіциту: підгрупа А – із переважним дефіцитом сили м'язів-розгиначів колінного суглоба; підгрупа Б – із переважним дефіцитом нейром'язового контролю та координації; підгрупа В – із переважним дефіцитом функціональної витривалості в поєднанні з больовим синдромом. Розподіл між підгрупами здійснювали після початкового клінічного обстеження, ультразвукового дослідження та динамометричного тестування на 14-й день після операції.

Критеріями розподілу слугували такі клінічно обґрунтовані показники: рівень сили м'язів-розгиначів колінного суглоба за даними L-Force (відсоток від норми для відповідної вікової та статевий групи), ступінь асиметрії між оперованою та контралатеральною кінцівкою за шкалою Biofeedback (індекс балансу фаз опори/переносу), а також вираженість больового синдрому за ВАШ у поєднанні з тривалістю підтримуваного навантаження. Детальні порогові значення для кожної підгрупи наведено нижче у відповідних підрозділах.

Незважаючи на відмінності у структурі програм, усі три варіанти базувалися на загальному протоколі 15 сеансів упродовж чотирьох тижнів (розділ 5.5) і відрізнялися між собою пріоритетними параметрами налаштування роботизованого ортеза, акцентами в зміні параметрів між фазами та специфічними критеріями прогресії навантаження. Такий підхід дозволяв зберегти методологічну послідовність і можливість порівняння між підгрупами, водночас забезпечуючи адресний вплив на провідний дефіцит кожного пацієнта.

## **5.7. Програма локомоторної терапії для пацієнтів із переважним дефіцитом сили м'язів-розгиначів (підгрупа А)**

### *5.7.1. Клінічна характеристика підгрупи та критерії відбору*

До підгрупи А включали пацієнтів, у яких провідним функціональним дефіцитом було виражене зниження сили м'язів-розгиначів колінного суглоба на оперованій стороні. Патофізіологічною основою цього стану є рефлекторне гальмування чотириголового м'яза стегна, спричинене артрогенним гальмуванням унаслідок гемартрозу та запального набряку в ранньому післяопераційному періоді, а також безпосередня детренованість м'яза, пов'язана зі вимушеним обмеженням опорного навантаження. Гіпотрофія квадрицепса стегна, що формується внаслідок цих механізмів, є не лише функціональним обмеженням, а й патогенетично значущим чинником перевантаження власної зв'язки наколінка, що підтверджено даними біомеханічного моделювання (розділ 3).

Критерії включення до підгрупи А: зниження сили м'язів-розгиначів коліна за даними L-Force до 50% і менше від нормативних значень для відповідної вікової та статевий групи; різниця між оперованою та контралатеральною кінцівкою понад 40%; рівень больового синдрому за ВАШ не більше 4 балів у спокої та не більше 6 балів при навантаженні (що дозволяє виконувати активні зусилля без значного загострення болю); відсутність ознак нестабільності колінного суглоба та гострого синовіту. Критеріями виключення з підгрупи А слугували: виражений больовий синдром (ВАШ у спокої понад 4 бали), що перешкоджає силовому тренуванню; ознаки нейропатії периферичних нервів нижньої кінцівки; наявність загострення запального процесу в суглобі.

Таблиця 5.2

**Клінічні критерії включення до підгрупи А (дефіцит сили)**

<b>Клінічний показник</b>	<b>Значення / характеристика</b>
Сила розгиначів (L-Force)	$\leq 50\%$ від вікової норми на оперованій стороні
Різниця між кінцівками	Понад 40% між оперованою та контралатеральною
ВАШ у спокої	$\leq 4$ балів
ВАШ при навантаженні	$\leq 6$ балів
Стан суглоба	Відсутність нестабільності та гострого синовіту
Стан нервової системи	Без ознак порушення вегетативної регуляції

*5.7.2. Принципи побудови програми*

Основним завданням програми підгрупи А є максимальна активація чотириголового м'яза стегна в умовах функціонального навантаження. Ключовим параметром, що відрізняє цю програму від базового протоколу, є використання мінімально можливої сили наведення (СН) для забезпечення активного м'язового зусилля пацієнта вже з перших сеансів. Зниження СН до 60–70% починаючи з 3–4-го сеансу (замість 90–100% у базовому протоколі) змушує пацієнта компенсувати брак апаратної підтримки власними м'язовими зусиллями, що формує необхідний стимул для нейром'язової активації. Водночас підтримку маси тіла (ПМТ) зберігають на відносно вищому рівні для запобігання больового перевантаження зв'язки в умовах ще недостатньої м'язової стабілізації.

Прогресія навантаження здійснюється переважно за рахунок зниження СН та ПМТ, тоді як швидкість бігової доріжки нарощується помірно порівняно з базовим протоколом. Критерієм прогресії між сеансами є збільшення показника L-Force на оперованій стороні не менш ніж на 5 Н·м за два попередні сеанси або відновлення симетрії між кінцівками до рівня не менше 70%. Відсутність

приросту сили при двох поспіль сеансах є підставою для повернення до параметрів попереднього сеансу та консультації лікаря.

Таблиця 5.3

**Протокол програми А (дефіцит сили): параметри 15 сеансів**

Сеанс	Тиждень	ПМТ, %	ДР КоС, °	Швидк., км/год	СН, %	Тривал., хв	Акцент сеансу
<b>Фаза І – Активаційна (сеанси 1–5): рання активація квадрицепса при збереженій ПМТ</b>							
1	1	50	0–30°	0,8	80	10	Базова активація квадрицепса; мінімальна СН з 1-го сеансу
2	1	50	0–35°	0,8	75	12	Підтримка активного зусилля; контроль L-Force
3	1	45	0–40°	0,9	70	13	Зниження СН до 70%; акцент на фазу розгинання коліна
4	1	45	0–40°	1,0	65	14	Збільшення тривалості при збереженні активного зусилля
5	2	40	0–45°	1,0	65	15	Оцінка L-Force; рішення щодо прогресії
<b>Фаза ІІ – Силова (сеанси 6–10): прогресивне нарощування активного м'язового зусилля</b>							
6	2	35	0–50°	1,2	60	18	Зниження СН до 60%; максимальна активна участь
7	2	30	0–55°	1,5	55	20	Акцент на ексцентричне розгинання у фазі опори
8	2	28	0–60°	1,5	50	22	Збільшення ДР; підтримка СН ≤ 50%
9	3	25	0–65°	1,8	45	23	Наближення до функціонального

							рівня сили; контроль симетрії
10	3	20	0– 70°	2,0	40	25	Контроль L- Force; критерій прогресії до фази III
<b>Фаза III – Функціональна (сеанси 11–15): відновлення функціональної сили та симетрії</b>							
11	3	20	0– 75°	2,0	40	25	Консолідація сили; мінімальна апаратна підтримка
12	3	15	0– 80°	2,2	35	27	Функціональне навантаження; тест симетрії
13	4	15	0– 85°	2,2	30	28	Пропріоцептивн е навантаження при збереженні сили
14	4	10	0– 90°	2,5	25	30	Максимальний ДР; підготовка до самостійного навантаження
15	4	10	0– 90°	2,5	25	30	Підсумкова оцінка L-Force; визначення подальшого плану

Особливістю завершальної частини кожного сеансу підгрупи А є обов'язкове виконання ізометричних вправ для квадрицепса стегна безпосередньо після виходу з апарата ( $3 \times 15$  повторень при куті  $60^\circ$ ), а також вправ з опором на розгинання коліна з еластичною стрічкою ( $3 \times 12$  повторень). Моніторинг ефективності програми здійснювали за допомогою L-Force на 5-му, 10-му та 15-му сеансах з фіксацією показника крутного моменту розгиначів у Н·м. Критерієм успішного завершення програми вважали відновлення сили розгиначів до рівня не менше 80% від нормативних значень або не менше 85% симетрії між кінцівками.

## **5.8. Програма локомоторної терапії для пацієнтів із переважним дефіцитом нейром'язового контролю та координації (підгрупа Б)**

### *5.8.1. Клінічна характеристика підгрупи та критерії відбору*

До підгрупи Б включали пацієнтів, у яких провідним функціональним дефіцитом було порушення нейром'язового контролю та координації під час ходи за відносно збереженої м'язової сили. Клінічно це проявлялося дисбалансом фаз опори та переносу (асиметрія понад 15% за даними Biofeedback), неправильним патерном активації м'язів під час крокового циклу, компенсаторними замісними рухами, а також підвищеною латералізацією навантаження на пателофеморальний суглоб. Патофізіологічно ці порушення пов'язані зі зміною пропріоцептивної аферентації з колінного суглоба внаслідок операційної травми, порушенням рефлексорних дуг між суглобовими механорецепторами та руховими нейронами спинного мозку, а також з формуванням адаптивних патологічних стереотипів ходи в ранньому постопераційному періоді.

Критерії включення до підгрупи Б: показник асиметрії фаз опори/переносу за даними Biofeedback понад 15% при ходьбі в апараті; сила розгиначів за L-Force не менше 55% від вікової норми (тобто без критичного силового дефіциту); клінічно виражені компенсаторні замісні рухи під час ходи (наприклад, трюк Тренделенбурга, надмірна зовнішня ротація стопи, антальгічна флексія тулуба); рівень болю за ВАШ не більше 4 балів при навантаженні. Критеріями виключення слугували: критичний силовий дефіцит (сила розгиначів менше 50% від норми – у цьому випадку пацієнта відносили до підгрупи А); виражений больовий синдром, що унеможлиблює якісне виконання патерну ходи; когнітивні порушення, що перешкоджають активній участі у Biofeedback-тренуванні.



Таблиця 5.4

**Клінічні критерії включення до підгрупи Б (дефіцит нейром'язового контролю)**

<b>Клінічний показник</b>	<b>Значення / характеристика</b>
Biofeedback — асиметрія	Понад 15% між оперованою та здоровою стороною
Сила розгиначів (L-Force)	$\geq 55\%$ від вікової норми (без критичного дефіциту)
ВАШ при навантаженні	$\leq 4$ балів
Замісні рухи	Клінічно виражені (Тренделенбург, ротація стопи)
Когнітивний статус	Збережений (для активного Biofeedback-тренування)

### 5.8.2. Принципи побудови програми

Основним завданням програми підгрупи Б є відновлення фізіологічного патерну ходи через систематичне Biofeedback-тренування з поступовим зменшенням апаратної корекції траєкторії руху. Ключовим параметром програми є використання переважно низьких значень сили наведення (СН) з першого тижня – на рівні 50–60% – з подальшим зниженням до 20–30% у третій фазі, що відрізняє цю програму від базового протоколу (де СН знижується більш поступово). Така стратегія забезпечує достатню свободу для варіативності руху і стимулює власні корекційні механізми пацієнта, що є необхідним для формування нового рухового стереотипу.

Важливою особливістю є активне використання модуля Biofeedback системи Locomat під час кожного сеансу: пацієнт отримує візуальний зворотний зв'язок про розподіл часу між фазами опори та переносу для кожної нижньої кінцівки. Завданням є досягнення симетрії між оперованою та здоровою стороною з допустимою асиметрією не більше 10% на 10-му сеансі та не більше 5% на 15-му сеансі. Критерієм прогресії між фазами є зниження індексу асиметрії Biofeedback до рівня менше 12% за підсумками двох поспіль сеансів.

Таблиця 5.5

**Протокол програми Б (дефіцит нейром'язового контролю): параметри 15  
сеансів**

Сеанс	Тиждень	ПМТ, %	ДР КоС, °	Швидк., км/год	СН, %	Тривал., хв	Акцент сеансу
<b>Фаза I – Сенсомоторна (сеанси 1–5): відновлення базового патерну ходи через Biofeedback</b>							
1	1	45	0– 35°	0,9	60	12	Ознайомлення з Biofeedback; оцінка базового індексу асиметрії
2	1	45	0– 40°	1,0	55	13	Активна корекція фази опори; Biofeedback у режимі реального часу
3	1	40	0– 40°	1,0	55	14	Зниження СН до 55%; вправи на свідому корекцію патерну
4	1	40	0– 45°	1,1	50	15	Акцент на фазу відриву стопи; контроль замісних рухів
5	2	38	0– 45°	1,2	50	15	Оцінка Biofeedback; критерій прогресії до фази II
<b>Фаза II – Координаційна (сеанси 6–10): збільшення варіативності та зниження апаратної корекції</b>							
6	2	35	0– 55°	1,4	45	18	Зниження СН до 45%; посилення власного нейром'язового контролю

7	2	30	0–60°	1,5	40	20	Робота на симетрію; Biofeedback — цільове значення $\leq 12\%$
8	2	28	0–60°	1,6	40	22	Збільшення швидкості при збереженні якості патерну
9	3	25	0–65°	1,8	35	23	Зниження СН до 35%; оцінка стабільності координації
10	3	22	0–70°	2,0	30	25	Контроль Biofeedback; критерій прогресії до фази III
<b>Фаза III – Автоматизація (сеанси 11–15): автоматизація фізіологічного стереотипу ходи</b>							
11	3	20	0–75°	2,0	30	25	Мінімальна СН; самостійне підтримання патерну
12	3	18	0–80°	2,2	25	27	Збільшення швидкості; тест на збереження симетрії
13	4	15	0–85°	2,2	25	28	Пропріоцепція при мінімальній апаратній підтримці
14	4	12	0–90°	2,5	20	30	Максимальна самостійність; Biofeedback — ціль $\leq 5\%$
15	4	10	0–90°	2,5	20	30	Підсумкова оцінка; порівняння Biofeedback 1-й vs 15-й сеанс

Завершальна частина кожного сеансу підгрупи Б акцентована на пропріоцептивних вправах: стояння на оперованій нижній кінцівці на нестабільній поверхні (балансувальна платформа,  $3 \times 30$  с), вправи з закритими очима для підвищення залежності від суглобової аферентації ( $3 \times 20$  с), а також вправи на активний контроль коліна в різних фазах опори. Моніторинг ефективності програми здійснювали за динамікою індексу асиметрії Biofeedback на 5-му, 10-му та 15-му сеансах. Критерієм успішного завершення програми вважали досягнення індексу асиметрії  $\leq 5\%$  та відсутність клінічно виражених замісних рухів при самотійній ходьбі.

## **5.9. Програма локомоторної терапії для пацієнтів із переважним дефіцитом функціональної витривалості та больовим синдромом (підгрупа В)**

### *5.9.1. Клінічна характеристика підгрупи та критерії відбору*

До підгрупи В включали пацієнтів, у яких провідними проблемами були знижена функціональна витривалість при навантаженні та стійкий больовий синдром, що обмежували тривалість та інтенсивність відновних сеансів. Клінічно ця підгрупа характеризується швидким наростанням больових відчуттів у ділянці власної зв'язки наколінка під час ходьби, раннім м'язовим стомленням при навантаженні, а також значним підвищенням рівня болю після навантаження (посттренувальне загострення). Патофізіологічною основою є поєднання субклінічного синовіального запалення з надмірним механічним навантаженням на структурно змінену зв'язку, що підтримується як недостатньою м'язовою стабілізацією, так і центральною сенситизацією больових рецепторів.

Критерії включення до підгрупи В: рівень болю за ВАШ від 4 балів і вище при навантаженні або значне (більш ніж на 2 бали за ВАШ) загострення болю після попередніх тренувань; зниження функціональної витривалості — нездатність підтримувати безперервну ходьбу більше 10 хвилин без больового загострення (більш ніж 2 бали за ВАШ); відносно збережена сила розгиначів (не менше 55% від норми) та відносно задовільний індекс асиметрії Biofeedback (не

більше 20%) – тобто без критичного силового або координаційного дефіциту. Критеріями виключення слугували: гострий синовіт із вираженим набряком, що потребує медикаментозного лікування; ВАШ у спокої більше 6 балів, що є протипоказанням до локомоторного тренування; порушення цілісності власної зв'язки наколінка за даними УЗД.

Таблиця 5.6

**Клінічні критерії включення до підгрупи В (дефіцит витривалості + больовий синдром)**

<b>Клінічний показник</b>	<b>Значення / характеристика</b>
ВАШ при навантаженні	$\geq 4$ балів АБО загострення $> 2$ балів після тренування
Функціональна витривалість	Безперервна ходьба без болю $< 10$ хвилин
Сила розгиначів (L-Force)	$\geq 55\%$ від вікової норми (без критичного дефіциту)
Biofeedback — асиметрія	$\leq 20\%$ (без критичного координаційного дефіциту)
ВАШ у спокої	$\leq 6$ балів

### 5.9.2. Принципи побудови програми

Основним завданням програми підгрупи В є поступове підвищення толерантності до локомоторного навантаження на тлі контролю больового синдрому. Стратегія програми базується на принципі «градуйованого впливу» (graded exposure): навантаження нарощується повільніше та з більш плавними кроками порівняно з базовим протоколом, пріоритет надається збільшенню тривалості ходьби, а не її інтенсивності. Ключовою відмінністю програми В є збереження більш тривалого використання підтримки маси тіла (ПМТ) — до 35–40% у першій половині курсу — що дозволяє знизити пікові навантаження на власну зв'язку наколінка та зменшити інтенсивність больової аферентації. Швидкість бігової доріжки залишається нижчою, ніж у базовому протоколі, з акцентом на збільшення кількості кроків, а не їх темпу.

Критичним параметром у цій програмі є больовий моніторинг протягом кожного сеансу. Правило «стоп за болем» для підгрупи В встановлює граничне значення ВАШ на рівні 4 балів безпосередньо під час ходьби: при досягненні цього значення апарат переводять у режим пасивного супроводу (СН 100%) або зупиняють сеанс з наступним аналізом причин загострення. Критерієм прогресії між фазами є здатність пацієнта підтримувати ходу протягом запланованої тривалості з ВАШ не більше 3 балів на двох поспіль сеансах.

Таблиця 5.7

**Протокол програми В (дефіцит витривалості + больовий синдром):  
параметри 15 сеансів**

Сеанс	Тиждень	ПМТ, %	ДР КоС, °	Швидк., км/год	СН, %	Тривал., хв	Акцент сеансу
<b>Фаза I – Десенситизаційна (сеанси 1–5): зниження больової чутливості, формування базової витривалості</b>							
1	1	55	0–25°	0,7	100	8	Мінімальне навантаження; перевірка больової реакції
2	1	55	0–30°	0,8	100	10	Збільшення тривалості за відсутності загострення
3	1	50	0–30°	0,8	90	11	Обережне зниження ПМТ; контроль ВАШ кожні 3 хв
4	1	50	0–35°	0,9	90	12	Збільшення тривалості; акцент на толерантність до навантаження
5	2	45	0–35°	0,9	85	13	Оцінка больової динаміки; рішення щодо прогресії
<b>Фаза II – Витривалісна (сеанси 6–10): нарощування тривалості навантаження при стабільному болі</b>							
6	2	42	0–45°	1,0	80	15	Збільшення тривалості; ПМТ

							ще висока для захисту зв'язки
7	2	38	0–50°	1,2	75	18	Поступове зниження ПМТ; контроль відновлення після сеансу
8	2	35	0–55°	1,3	70	20	Збільшення ДР; акцент на ритмічність та контроль болю
9	3	32	0–60°	1,5	65	22	Наближення до функціонального темпу ходи
10	3	28	0–65°	1,8	60	23	Контроль ВАШ; критерій прогресії до фази III
<b>Фаза III – Функціональна (сеанси 11–15): відновлення функціональної витривалості та впевненості при навантаженні</b>							
11	3	25	0–70°	1,8	55	25	Підтримка досягнутої тривалості; зниження апаратної допомоги
12	3	22	0–75°	2,0	50	27	Збільшення швидкості; тест 15-хвилинної ходи
13	4	18	0–80°	2,0	45	28	Функціональне навантаження; контроль посттрениувального болю
14	4	15	0–85°	2,2	40	30	Наближення до побутового темпу ходи; ВАШ < 3 балів
15	4	12	0–90°	2,5	35	30	Підсумкова оцінка витривалості та больового синдрому

Завершальна частина сеансів підгрупи В передбачає обов'язкову кріотерапію ділянки колінного суглоба (15 хвилин після кожного сеансу для зменшення реактивного набряку), вправи на розтягнення квадрицепса та підколінних сухожил'я у положенні лежачи (статичний стретчинг  $3 \times 30$  с), а також дихальні вправи для нормалізації вегетативної відповіді. Моніторинг ефективності програми включав: оцінку ВАШ до, під час та через 24 години після кожного сеансу; контроль набряку колінного суглоба (периметрія); фіксацію тривалості безперервної ходьби без больового загострення (функціональна витривалість). Критерієм успішного завершення програми вважали здатність підтримувати безперервну ходьбу протягом 30 хвилин при ВАШ не більше 2 балів та відсутність посттренувального загострення.

#### 5.10. Порівняльна характеристика диференційованих програм локомоторної терапії

Три розроблені програми локомоторної терапії базуються на спільній структурі 15 сеансів у трьох фазах, проте відрізняються між собою за пріоритетними параметрами налаштування, стратегією прогресії навантаження та специфічними завданнями кожного етапу. Порівняльна характеристика програм наведена в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8

#### Порівняльна характеристика диференційованих програм локомоторної терапії (підгрупи А, Б, В)

Параметр	Підгрупа А (дефіцит сили)	Підгрупа Б (дефіцит координації)	Підгрупа В (дефіцит витривалості + біль)
Провідний дефіцит	Сила розгиначів < 50% норми	Асиметрія Biofeedback > 15%	ВАШ $\geq 4$ балів + витривалість < 10 хв
Ключовий параметр	Мінімальна СН з 1-го сеансу	Biofeedback у реальному часі	Максимальна ПМТ + поступова тривалість



СН на 1-му сеансі	80%	60%	100%
СН на 15-му сеансі	25%	20%	35%
ПМТ на 1-му сеансі	50%	45%	55%
ПМТ на 15-му сеансі	10%	10%	12%
Швидкість (максимальна)	2,5 км/год	2,5 км/год	2,5 км/год
Тривалість 15-го сеансу	30 хв	30 хв	30 хв
Критерій прогресії	$\uparrow \text{L-Force} \geq 5 \text{ Н} \cdot \text{м} / 2 \text{ сеанси}$	$\text{Biofeedback} \leq 12\% \text{ після фази I}$	$\text{ВАШ} \leq 3 \text{ балів на 2 поспіль сеансах}$
Завершальна частина	Ізометрика + вправи з опором	Пропріоцепція на нестабільній поверхні	Кріотерапія + стретчинг
Моніторинг ефективності	L-Force на 5, 10, 15-му сеансах	Biofeedback на 5, 10, 15-му сеансах	ВАШ + тривалість ходи
Критерій успіху	Сила $\geq 80\%$ норми або симетрія $\geq 85\%$	Асиметрія $\leq 5\%$ , без замісних рухів	Хода 30 хв при $\text{ВАШ} \leq 2 \text{ балів}$

Таким чином, розроблені диференційовані програми локомоторної терапії дозволяють індивідуально впливати на провідний функціональний дефіцит кожного пацієнта, зберігаючи при цьому методологічну послідовність та загальну структуру курсу. Впровадження диференційованого підходу обґрунтовується не лише клінічними міркуваннями, а й патогенетичними даними, отриманими в ході біомеханічного моделювання (розділ 4), які показали, що характер перевантаження власної зв'язки наколінка суттєво відрізняється залежно від провідного типу м'язового та нейром'язового дефіциту.

Відповідно, фізична терапія потребує не уніфікованого, а індивідуалізованого підходу до параметрів локомоторного тренування.

## РОЗДІЛ 6

### ВПЛИВ АНТРОПОМЕТРИЧНИХ ЧИННИКІВ ВІКУ ТА ІНДЕКСУ МАСИ ТІЛА НА ФУНКЦІОНАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ У ДОСЛІДЖУВАНИХ ГРУПАХ

#### 6.1. Вплив віку на динаміку клініко-функціональних показників у досліджуваних групах

Для оцінки впливу віку на динаміку клініко-функціональних показників пацієнтів кожної з груп розподілено на дві підгрупи: віком до 40 років та старше 40 років. Порівняльний аналіз проводили окремо в контрольній групі та в групі роботизованої фізичної терапії, як складової реабілітації, з використанням критерію Манна–Уїтні.

У групі порівняння вік пацієнтів достовірно впливав на показники функціонального стану колінного суглоба. За опитувальником AKPS молодші пацієнти демонстрували статистично значущо кращі результати на всіх етапах спостереження. До операції медіана AKPS у підгрупі до 40 років становила 70 (69–71) бала, у підгрупі старше 40 років – 69 (68–70) балів ( $p < 0,001$ ). Через 12 тижнів після операції значення обох підгруп були формально однаковими (76 балів), однак статистично значуща різниця зберігалася ( $p < 0,001$ ), що може пояснюватися відмінностями в розподілі всередині міжквартильного інтервалу.

За показником ВАШ у групі порівняння статистично значущих вікових відмінностей не виявлено на жодному з етапів ( $p = 0,492$  на всіх часових точках). За шкалою Lysholm молодші пацієнти демонстрували кращі результати до операції (66 vs 59 балів;  $p = 0,007$ ) та в ранні строки після неї, проте через 12 тижнів достовірних відмінностей не виявлено ( $p = 0,751$ ). Детальні дані наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Порівняння показників залежно від віку в групі дослідження, критерій Манна–Уїтні, Me (LQ–UQ), N = 30 у кожній підгрупі

Показник	Вік до 40 років (N = 30)	Вік $\geq$ 40 років (N = 30)	Z	p-value
До операції				
AKPS	70 (69–71)	69 (68–70)	–6,65	< 0,001
ВАШ	6 (5–7)	7 (6–7)	–0,69	0,492
Lysholm	66 (64–69)	59 (55–64)	2,68	< 0,05
Вік	33 (28–36)	44 (42–46)	–2,21	< 0,05
ІМТ	28,7 (24,9–30,4)	29,3 (24,8–32,5)	4,33	< 0,001
2 тижні п/о				
AKPS	34 (31–35)	29 (28–33)	–6,65	< 0,001
ВАШ	4 (4–5)	5 (4–6)	–0,69	0,492
Lysholm	36 (32–38)	33 (24–36)	3,39	< 0,001
Вік	33 (28–36)	44 (42–46)	–2,03	< 0,05
ІМТ	28,7 (24,9–30,4)	29,3 (24,8–32,5)	2,46	< 0,05
6 тижнів п/о				
AKPS	65 (64–66)	64 (64–65)	–6,65	< 0,001

ВАШ	3 (2–3)	4 (4–5)	–0,69	0,492
Lysholm	74 (62–81)	62 (50–76)	2,52	< 0,05
Вік	33 (28–36)	44 (42–46)	–5,31	< 0,001
IMT	28,7 (24,9–30,4)	29,3 (24,8–32,5)	2,40	< 0,05
12 тижнів п/о				
AKPS	76 (76–76)	76 (76–76)	–6,65	< 0,001
ВАШ	2 (1–2)	3 (3–4)	–0,69	0,492
Lysholm	85 (84–90)	76 (68–84)	0,32	0,751
Вік	33 (28–36)	44 (42–46)	–6,14	< 0,001
IMT	28,7 (24,9–30,4)	29,3 (24,8–32,5)	4,52	< 0,001

У групі дослідження терапії вікові відмінності також були наявними, однак їхній характер виявився менш однорідним. За AKPS молодші пацієнти мали кращі результати на всіх етапах ( $p < 0,001$ ). За ВАШ вік мав достовірний вплив на всіх контрольних точках ( $p = 0,030$ ): молодші пацієнти демонстрували нижчий рівень болю, що особливо виражено через 12 тижнів — 0 (0–1) проти 1 (1–2) бала. За шкалою Lysholm достовірною різниця між підгрупами спостерігалась лише через 2 тижні після операції ( $p = 0,016$ ), тоді як на 6-му та 12-му тижнях відмінності не були статистично значущими ( $p = 0,695$  та  $0,544$  відповідно). Це свідчить про те, що в групі роботизованої фізичної терапії роль вікового фактора щодо функціонального відновлення нівелювалась у процесі лікування. Детальні дані наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2

Порівняння показників залежно від віку в групі дослідження, критерій Манна–Уїтні, Me (LQ–UQ), N = 30 у кожній підгрупі

Показник	Вік до 40 років (N = 30)	Вік $\geq$ 40 років (N = 30)	Z	p-value
До операції				
AKPS	70 (69–70)	69 (68–70)	–6,65	< 0,001
ВАШ	6 (5–7)	7 (6–7)	–2,17	< 0,05
Lysholm	65 (64–69)	59 (55–64)	1,80	0,071
Вік	33 (26–37)	43,5 (42–47)	–1,53	0,126
ІМТ	26,4 (24,2–29,2)	29 (26,7–31)	2,93	< 0,05
2 тижні п/о				
AKPS	36 (33–39)	32 (32–37)	–6,65	< 0,001
ВАШ	4 (3–5)	5 (4–6)	–2,17	< 0,05
Lysholm	36 (28–38)	34 (24–36)	2,42	< 0,05
Вік	33 (26–37)	43,5 (42–47)	–3,78	< 0,001
ІМТ	26,4 (24,2–29,2)	29 (26,7–31)	0,91	0,363
6 тижнів п/о				
AKPS	77 (76–78)	77 (76–78)	–6,65	< 0,001

ВАШ	2 (1–2)	2 (2–2)	–2,17	< 0,05
Lysholm	84 (76–90)	74 (68–74)	–0,39	0,695
Вік	33 (26–37)	43,5 (42–47)	–2,66	< 0,05
ІМТ	26,4 (24,2–29,2)	29 (26,7–31)	4,70	< 0,001
12 тижнів п/о				
АКPS	90 (89–90)	89 (89–90)	–6,65	< 0,001
ВАШ	0 (0–1)	1 (1–2)	–2,17	< 0,05
Lysholm	90,5 (90–96)	90 (84–91)	0,61	0,544
Вік	33 (26–37)	43,5 (42–47)	–4,13	< 0,001
ІМТ	26,4 (24,2–29,2)	29 (26,7–31)	2,27	< 0,05

Таким чином, вік пацієнтів впливав на динаміку клініко-функціональних показників в обох групах. У групі порівняння вікові відмінності були більш вираженими щодо АКPS та шкали Lysholm в ранні строки спостереження. У групі дослідження вплив вікового фактора на функціональний стан колінного суглоба зменшувався у процесі лікування, а старші пацієнти демонстрували більш швидку позитивну динаміку, що може свідчити про сприятливий вплив програми роботизованої фізичної терапії на темпи відновлення в цій віковій підгрупі.

## **6.2. Вплив індексу маси тіла на динаміку клініко-функціональних показників у досліджуваних групах**

Для оцінки впливу індексу маси тіла (ІМТ) на клініко-функціональні показники пацієнтів розподілено на дві підгрупи: з ІМТ менше 30 кг/м<sup>2</sup> та 30

кг/м<sup>2</sup> і більше. Порівняльний аналіз проводили окремо в групі порівняння та в групі дослідження з використанням критерію Манна–Уїтні за показниками АКPS, ВАШ та шкалою Lysholm у чотири контрольні терміни.

У групі порівняння ІМТ не мав статистично значущого впливу на показники АКPS на жодному етапі ( $p = 0,945$ ). Натомість за ВАШ виявлено значущі відмінності між підгрупами на всіх часових точках ( $p < 0,001$ ): пацієнти з  $\text{ІМТ} \geq 30$  кг/м<sup>2</sup> демонстрували нижчий рівень болю порівняно з підгрупою  $\text{ІМТ} < 30$  кг/м<sup>2</sup>. За шкалою Lysholm вплив ІМТ був найбільш вираженим у доопераційному та ранньому післяопераційному періодах (до операції та через 2 тижні:  $p < 0,001$ ), через 6 тижнів —  $p = 0,025$ , тоді як через 12 тижнів відмінності втрачали статистичну значущість ( $p = 0,279$ ). Детальні дані наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3

Порівняння показників залежно від ІМТ у групі порівняння, критерій Манна–Уїтні, Me (LQ–UQ)

Показник	ІМТ < 30 кг/м <sup>2</sup> (N = 38)	ІМТ ≥ 30 кг/м <sup>2</sup> (N = 22)	Z	p-value
<b>До операції</b>				
АКPS	70 (69–70)	69 (68–69)	0,07	0,945
ВАШ	6,5 (5–7)	6 (5–7)	–6,40	< 0,001
Lysholm	64 (59–69)	64 (59–66)	3,72	< 0,001
Вік	39,5 (33–45)	41 (33–43)	0,97	0,330
ІМТ	27 (23,7–28,6)	32,6 (31,3–33,4)	0,52	0,602
<b>2 тижні п/о</b>				



AKPS	34 (31–35)	28 (28–30)	0,07	0,945
BAШ	5 (4–6)	4,5 (4–5)	–6,40	< 0,001
Lysholm	36 (32–38)	33 (26–36)	4,18	< 0,001
Вік	39,5 (33–45)	41 (33–43)	0,80	0,425
IMT	27 (23,7–28,6)	32,6 (31,3–33,4)	1,92	0,055
<b>6 тижнів п/о</b>				
AKPS	65 (64–66)	64 (64–65)	0,07	0,945
BAШ	3 (2–5)	4 (3–4)	–6,40	< 0,001
Lysholm	74 (62–76)	62 (55–76)	2,25	< 0,05
Вік	39,5 (33–45)	41 (33–43)	0,01	0,994
IMT	27 (23,7–28,6)	32,6 (31,3–33,4)	1,37	0,172
<b>12 тижнів п/о</b>				
AKPS	76 (76–76)	76 (75–76)	0,07	0,945
BAШ	2 (1–3)	2 (2–3)	–6,40	< 0,001
Lysholm	85 (76–86)	79,5 (68–84)	1,08	0,279
Вік	39,5 (33–45)	41 (33–43)	–0,59	0,555
IMT	27 (23,7–28,6)	32,6 (31,3–33,4)	2,44	< 0,05

У групі дослідження вплив ІМТ був більш послідовним і системним. За АКPS пацієнти з ІМТ < 30 кг/м<sup>2</sup> демонстрували статистично значущо кращі результати на всіх етапах ( $p = 0,016$ ). За ВАШ вплив ІМТ також зберігався протягом усього спостереження ( $p < 0,001$ ): нижчий ІМТ асоціювався з меншою інтенсивністю больового синдрому. За шкалою Lysholm достовірні відмінності виявлено до операції та через 2 тижні після неї ( $p < 0,001$  та  $p = 0,001$ ), тоді як на пізніших етапах різниця не досягала статистичної значущості ( $p = 0,066$  та  $0,082$ ). Це свідчить про поступове нівелювання впливу ІМТ у процесі роботизованої фізичної терапії. Детальні дані наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4

Порівняння показників залежно від ІМТ у групі дослідження, критерій Манна–Уїтні, Ме (LQ–UQ)

Показник	ІМТ < 30 кг/м <sup>2</sup> (N = 45)	ІМТ ≥ 30 кг/м <sup>2</sup> (N = 15)	Z	p-value
<b>До операції</b>				
АКPS	70 (69–70)	68 (68–69)	–2,41	< 0,05
ВАШ	6 (5–7)	7 (6–8)	–5,75	< 0,001
Lysholm	64 (59–66)	55 (51–64)	4,22	< 0,001
Вік	39 (31–43)	42 (37–48)	–0,85	0,393
ІМТ	26,4 (24,2–27,9)	32,7 (31,1–33,8)	2,54	< 0,05
<b>2 тижні п/о</b>				
АКPS	36 (33–38)	32 (32–34)	–2,41	< 0,05
ВАШ	4 (4–5)	5 (4–6)	–5,75	< 0,001

Lysholm	36 (28–38)	24 (24–32)	3,35	0,001
Bік	39 (31–43)	42 (37–48)	–1,53	0,127
ІМТ	26,4 (24,2–27,9)	32,7 (31,1–33,8)	3,31	0,001
<b>6 тижнів п/о</b>				
АКPS	77 (76–79)	76 (76–77)	–2,41	< 0,05
ВАШ	2 (1–2)	2 (2–2)	–5,75	< 0,001
Lysholm	76 (74–86)	68 (68–74)	1,84	0,066
Bік	39 (31–43)	42 (37–48)	–2,00	< 0,05
ІМТ	26,4 (24,2–27,9)	32,7 (31,1–33,8)	3,02	< 0,05
<b>12 тижнів п/о</b>				
АКPS	90 (89–90)	89 (89–90)	–2,41	< 0,05
ВАШ	1 (0–1)	1 (0–2)	–5,75	< 0,001
Lysholm	90 (84–96)	84 (84–91)	1,74	0,082
Bік	39 (31–43)	42 (37–48)	–1,53	0,127
ІМТ	26,4 (24,2–27,9)	32,7 (31,1–33,8)	1,98	< 0,05

Таким чином, ІМТ мав вплив на клініко-функціональні показники в обох групах, однак характер цього впливу різнився. У контрольній групі ІМТ не впливав на АКPS, але асоціювався з відмінностями за ВАШ на всіх етапах та за шкалою Lysholm у доопераційному й ранньому післяопераційному періодах. У групі дослідження вплив ІМТ був більш системним: пацієнти з ІМТ < 30 кг/м<sup>2</sup>

демонстрували нижчий рівень болю та кращі функціональні результати за AKPS протягом усього спостереження. Водночас у обох групах з часом відмінності між підгрупами за шкалою Lysholm нівелювалися, що вказує на те, що роботизована фізична терапія частково компенсує несприятливий вплив надлишкової маси тіла на функціональне відновлення.

## РОЗДІЛ 7

### ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РОБОТИЗОВАНОГО ОРТЕЗА

#### 7.1. Динаміка больового синдрому

Оцінку інтенсивності больового синдрому в пацієнтів досліджуваних груп проводили за візуальною аналоговою шкалою болю (ВАШ) у чотири контрольні терміни: до операції, через 14 днів після хірургічного втручання, через 6 тижнів та через 12 тижнів після операції. При аналізі результатів враховували, що до 14-го дня післяопераційного періоду всі пацієнти перебували в однакових умовах обстеження та лікування, а розподіл на групу порівняння і групу дослідження із застосуванням РО здійснювали саме на 14-й день після операції. У зв'язку з цим відсутність міжгрупових відмінностей у доопераційному періоді та через 14 днів після хірургічного втручання є методологічно очікуваною.

##### 7.1.1. Внутрішньогрупова динаміка показників ВАШ у групі дослідження

У групі дослідження із застосуванням РО до операції показник ВАШ становив 7 (5–7) балів. Через 14 днів після хірургічного втручання медіана знижувалася до 5 (4–5) балів, і ця різниця була статистично значущою порівняно з доопераційним рівнем ( $p < 0,001$ ). Через 6 тижнів після операції інтенсивність болю зменшувалася до 2 (1–2) балів, що достовірно відрізнялося як від доопераційного рівня ( $p < 0,001$ ), так і від показника на 14-й день після втручання ( $p < 0,001$ ). Через 12 тижнів після операції показник ВАШ у цій групі становив 1 (0–1) бал, що було статистично значуще нижчим порівняно з доопераційним рівнем ( $p < 0,001$ ), з 14-м днем після операції ( $p < 0,001$ ) та з показником через 6 тижнів ( $p < 0,001$ ). Отже, у групі роботизованої фізичної терапії відзначалося не лише послідовне, а й більш виражене зниження інтенсивності болю в динаміці спостереження (рис. 7.1, табл. 7.1).

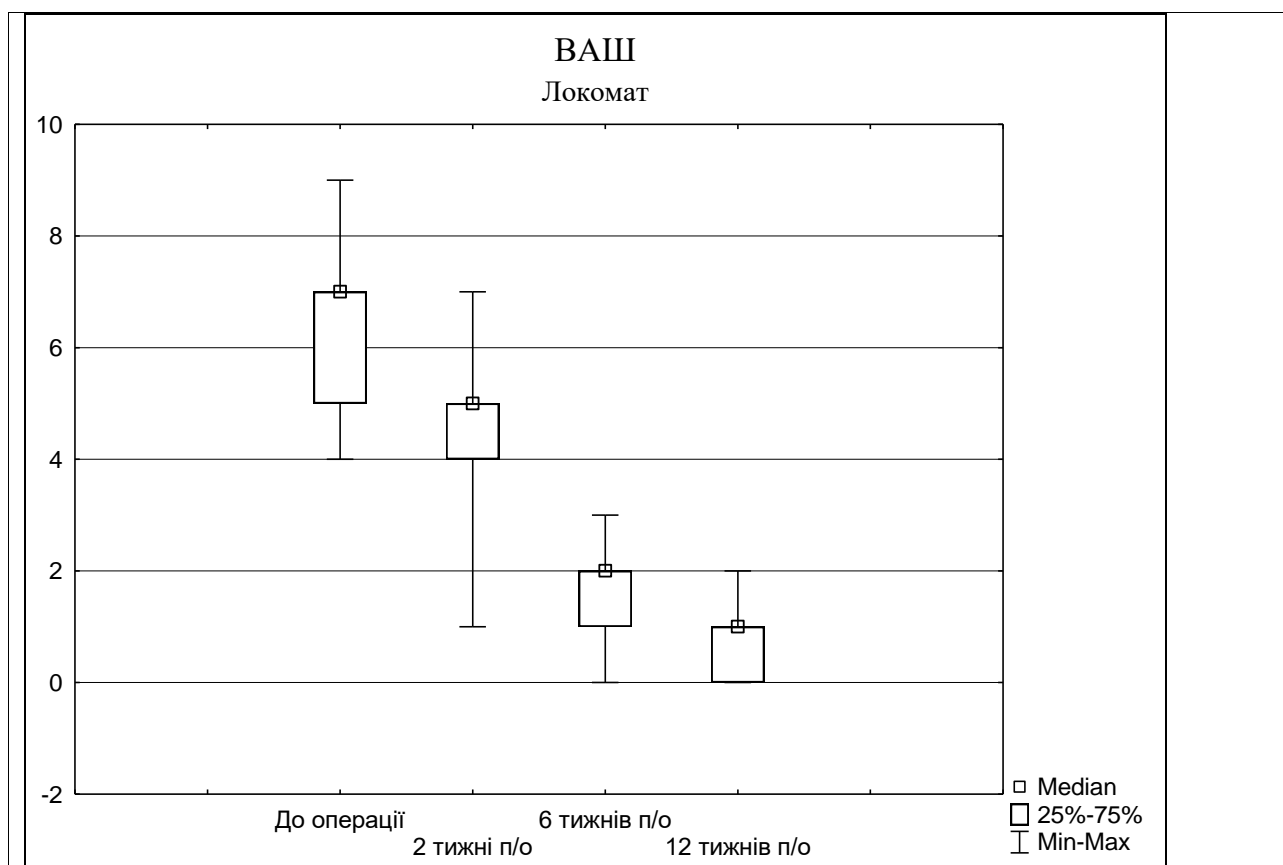


Рисунок 7.1 – Діаграма. Оцінка впливу фактору часу в групі дослідження на показник ВАШ (Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance, ANOVA Chi Sqr. (N = 60, df = 3) = 173,77, p < 0,001).

Таблиця 7.1

Внутрішньогрупова динаміка показника ВАШ у групі дослідження, Me (LQ–UQ)

	До операції	2 тижні п/о	Z	p-value
ВАШ	7 (5 - 7)	5 (4 - 5)	6,65	< 0,001
	До операції	6 тижнів п/о	Z	p-value
ВАШ	7 (5 - 7)	2 (1 - 2)	9,44	< 0,001
	До операції	12 тижнів п/о	Z	p-value
ВАШ	7 (5 - 7)	1 (0 - 1)	9,44	< 0,001
	2 тижні п/о	6 тижнів п/о	Z	p-value
ВАШ	5 (4 - 5)	2 (1 - 2)	8,77	< 0,001
	2 тижні п/о	12 тижнів п/о	Z	p-value
ВАШ	5 (4 - 5)	1 (0 - 1)	9,24	< 0,001
	6 тижні п/о	12 тижнів п/о	Z	p-value
ВАШ	2 (1 - 2)	1 (0 - 1)	5,37	< 0,001

### 7.1.2. Внутрішньогрупова динаміка показників ВАШ у групі порівняння

У групі порівняння інтенсивність больового синдрому за ВАШ до операції становила 6 (5–7) балів. Через 14 днів після хірургічного втручання показник зменшувався до 5 (4–6) балів, і ця різниця була статистично значущою порівняно з доопераційним рівнем ( $p < 0,001$ ). Через 6 тижнів після операції біль продовжував зменшуватися до 3 (3–4) балів, що також достовірно відрізнялося як від доопераційного рівня ( $p < 0,001$ ), так і від показника на 14-й день після операції ( $p < 0,001$ ). Через 12 тижнів після операції медіана ВАШ у контрольній групі становила 2 (2–3) бали, що було достовірно нижчим порівняно з доопераційним рівнем ( $p < 0,001$ ), показником через 14 днів ( $p < 0,001$ ) та показником через 6 тижнів ( $p < 0,001$ ). Таким чином, у контрольній групі спостерігалось послідовне статистично значуще зменшення інтенсивності больового синдрому на всіх етапах післяопераційного спостереження (рис. 7.2, табл. 7.2).

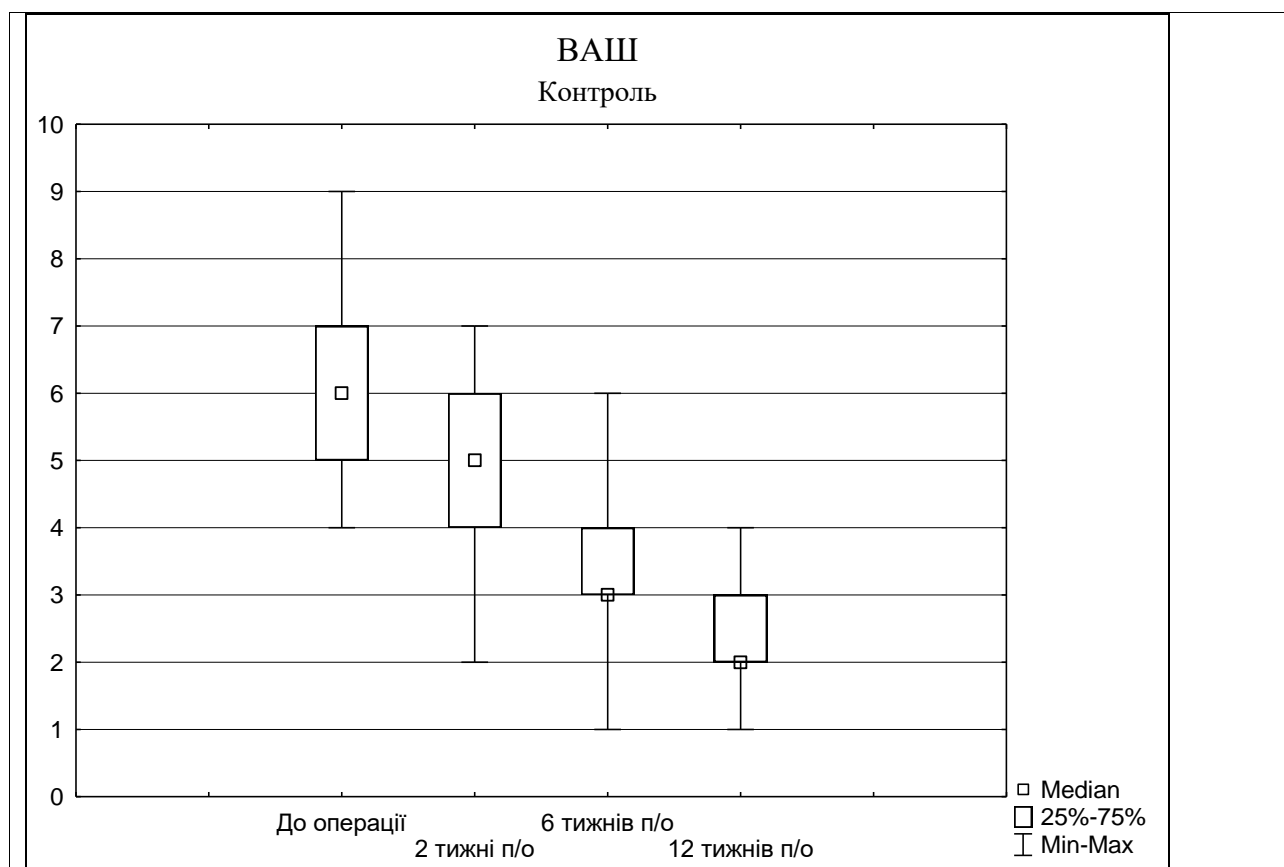


Рисунок 7.2 – Діаграма. Оцінка впливу фактору часу в групі порівняння на показник ВАШ (Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance, ANOVA Chi Sqr. (N = 60, df = 3) = 164,22,  $p < 0,001$ ).

Таблиця 7.2

Внутрішньогрупова динаміка показника ВАШ у групі порівняння, Ме (LQ–UQ)

	До операції	2 тижні п/о	Z	p-value
ВАШ	6 (5 - 7)	5 (4 - 6)	5,80	< 0,001
	До операції	6 тижнів п/о	Z	p-value
ВАШ	6 (5 - 7)	3 (3 - 4)	8,17	< 0,001
	До операції	12 тижнів п/о	Z	p-value
ВАШ	6 (5 - 7)	2 (2 - 3)	9,33	< 0,001
	2 тижні п/о	6 тижнів п/о	Z	p-value
ВАШ	5 (4 - 6)	3 (3 - 4)	4,48	< 0,001
	2 тижні п/о	12 тижнів п/о	Z	p-value
ВАШ	5 (4 - 6)	2 (2 - 3)	7,91	< 0,001
	6 тижні п/о	12 тижнів п/о	Z	p-value



ВАШ	3 (3 - 4)	2 (2 - 3)	4,73	< 0,001
-----	-----------	-----------	------	---------

### 7.1.3. Порівняння показників ВАШ між групами

На доопераційному етапі статистично значущої різниці між групою порівняння та групою дослідження не встановлено. Угрупі порівняння медіана ВАШ становила 6 (5–7) балів, тоді як у дослідження – 7 (5–7) балів ( $p=0,490$ ). Це свідчить про вихідну співставність груп за вираженістю больового синдрому до початку лікування.

Порівняння показників ВАШ між групами через 14 днів після операції

Через 14 днів після хірургічного втручання, тобто в момент завершення однакового для всіх пацієнтів післяопераційного етапу та перед початком диференційованої фізичної терапії, міжгрупової різниці за ВАШ також не виявлено. У групі порівняння показник становив 5 (4–6) балів, у групі дослідження – 5 (4–5) балів ( $p=0,783$ ). Відсутність статистично значущої різниці на цьому етапі є закономірною і підтверджує методичну коректність формування груп. Етап 14-го дня після операції слід розглядати як вихідну точку для подальшого порівняння ефективності різних програм відновного лікування.

Порівняння показників ВАШ між групами через 6 тижнів після операції

Через 6 тижнів після операції між групами вже виявлено статистично значущу різницю за показником ВАШ. У групі порівняння медіана інтенсивності болю становила 3 (3–4) бали, тоді як у групі дослідження – 2 (1–2) бали ( $p<0,001$ ). Отримані результати свідчать, що після початку роботизованої фізичної терапії редукція больового синдрому в пацієнтів основної групи відбувалася швидше, ніж у хворих контрольної групи. Саме на цьому етапі починає чітко проявлятися ефект застосованої програми фізичної терапії із використанням роботизованого ортеза.

Порівняння показників ВАШ між групами через 12 тижнів після операції

Через 12 тижнів після операції міжгрупові відмінності за ВАШ не лише зберігалися, а й залишалися статистично значущими. У групі порівняння показник ВАШ становив 2 (2–3) бали, тоді як у групі дослідження – 1 (0–1) бал

( $p < 0,001$ ). Це свідчило про більшу редукцію больового синдрому в пацієнтів основної групи на етапі мінімально короткого віддаленого результату. Таким чином, перевага групи дослідження щодо зменшення больового синдрому, яка стала очевидною через 6 тижнів після операції, зберігалася і через 12 тижнів спостереження (табл. 7.3).

Таблиця 7.3

Порівняння показника ВАШ між групами, критерій Манна–Уїтні, Me (LQ–UQ)

	Порівняння, N = 60	Дослідження, N = 60	Z	p-value
До операції	6 (5 - 7)	7 (5 - 7)	-0,69	0,490
2 тижні п/о	5 (4 - 6)	5 (4 - 5)	0,28	0,783
6 тижнів п/о	3 (3 - 4)	2 (1 - 2)	7,40	< 0,001
12 тижнів п/о	2 (2 - 3)	1 (0 - 1)	7,29	< 0,001

Аналіз динаміки показників ВАШ показав, що до операції пацієнти групи порівняння та групи дослідження (фізична терапія з РО) із застосуванням РО були співставними за вираженістю больового синдрому, оскільки статистично значущої різниці між ними не виявлено. Через 14 днів після хірургічного втручання в обох групах також зберігався виражений біль без достовірних міжгрупових відмінностей, що є закономірним, оскільки до цього моменту всі пацієнти перебували в однакових умовах післяопераційного ведення, без використання роботизованої фізичної терапії.

У подальшому в обох групах спостерігалось статистично значуще зменшення інтенсивності больового синдрому в динаміці, однак темпи редукції болю були різними. У групі порівняння медіана ВАШ зменшилася з 6 балів до операції до 5 балів через 14 днів, 3 балів через 6 тижнів та 2 балів через 12 тижнів, що відповідало загальному зниженню больового синдрому на 66,7% порівняно з доопераційним рівнем. Якщо ж за вихідну точку брати 14-й день після операції, тобто момент початку фізичної терапії, то зниження болю через 6 тижнів становило 40,0%, а через 12 тижнів – 60,0%.

У групі дослідження позитивна динаміка була більш вираженою. Медіана ВАШ зменшилася з 7 балів до операції до 5 балів через 14 днів, 2 балів через 6

тижнів та 1 бала через 12 тижнів. Це відповідало загальному зниженню інтенсивності больового синдрому на 85,7% порівняно з доопераційним рівнем. Відносно 14-го дня після операції, тобто після початку впливу фізичної терапії, редукція болю становила 60,0% через 6 тижнів і 80,0% через 12 тижнів.

Міжгрупове порівняння підтвердило, що до операції та через 14 днів після хірургічного втручання статистично значущих відмінностей між групами не існувало, тоді як через 6 тижнів після операції в групі роботизованої фізичної терапії показник ВАШ був на 33,3% нижчим, ніж у контрольній групі, а через 12 тижнів – на 50,0% нижчим. Отже, включення РО до програми відновного лікування сприяло швидшому та значимому зменшенню больового синдрому, причому клінічно й статистично значуща перевага цієї програми починала чітко проявлятися після при фізичної терапії та зберігалася в подальші терміни спостереження.

## **7.2. Динаміка функціонального стану колінного суглоба за АКPS**

Оцінку динаміки функціонального стану колінного суглоба у пацієнтів досліджуваних груп проводили за шкалою Anterior Knee Pain Scale (AKPS) у чотири контрольні терміни: до операції, через 14 днів після хірургічного втручання, через 6 тижнів та через 12 тижнів після операції. Вищі значення AKPS відповідали кращому функціональному стану колінного суглоба та меншій вираженості симптомів переднього болю коліна. При інтерпретації результатів враховували, що до 14-го дня післяопераційного періоду всі пацієнти проходили однакове обстеження та однакове післяопераційне ведення, а розподіл на групу порівняння та групу дослідження (фізична терапія з РО) із застосуванням роботизованого ортеза здійснювали саме на 14-й день після операції.

### **7.2.1. Внутрішньогрупова динаміка показників АКPS у групі дослідження**

У групі дослідження із застосуванням РО до операції медіана показника АКPS також становила 69 (69–70) балів. Через 14 днів після хірургічного втручання цей показник знижувався до 33 (32–37) балів. Як і в групі порівняння, це відображало виражене функціональне погіршення в ранньому післяопераційному періоді. Різниця між доопераційним рівнем і показником через 14 днів була статистично значущою ( $p < 0,001$ ).

Через 6 тижнів після операції в групі дослідження показник АКPS зростав до 77 (76–78) балів. Порівняно з 14-м днем після операції це покращення було статистично значущим ( $p < 0,001$ ). Водночас, на відміну від групи порівняння, уже через 6 тижнів медіана АКPS у пацієнтів основної групи була не лише вищою, ніж на 14-й день, а й перевищувала доопераційний рівень ( $p < 0,001$ ). Це свідчить про швидше відновлення та більш виражене покращення функціонального стану колінного суглоба після початку фізичної терапії із застосуванням роботизованого ортеза.

Через 12 тижнів після операції в групі дослідження медіана показника АКPS досягала 89,5 (89–90) бала. Це значення було статистично значуще вищим як порівняно з 14-м днем після операції ( $p < 0,001$ ), так і порівняно з 6-м тижнем ( $p < 0,001$ ) та доопераційним рівнем ( $p < 0,001$ ). Отже, в основній групі до 12-го тижня післяопераційного спостереження відзначалося найбільш виражене функціональне покращення серед усіх часових точок.

У цілому в групі роботизованої фізичної терапії також встановлено статистично значущий вплив фактора часу на показник АКPS (Friedman ANOVA  $\chi^2 = 180,0$ ;  $p < 0,001$ ). Усі попарні часові порівняння в межах групи були статистично значущими, що підтверджує послідовну та виражену позитивну динаміку функціонального стану колінного суглоба протягом усього періоду спостереження (рис. 7.3, табл. 7.4).

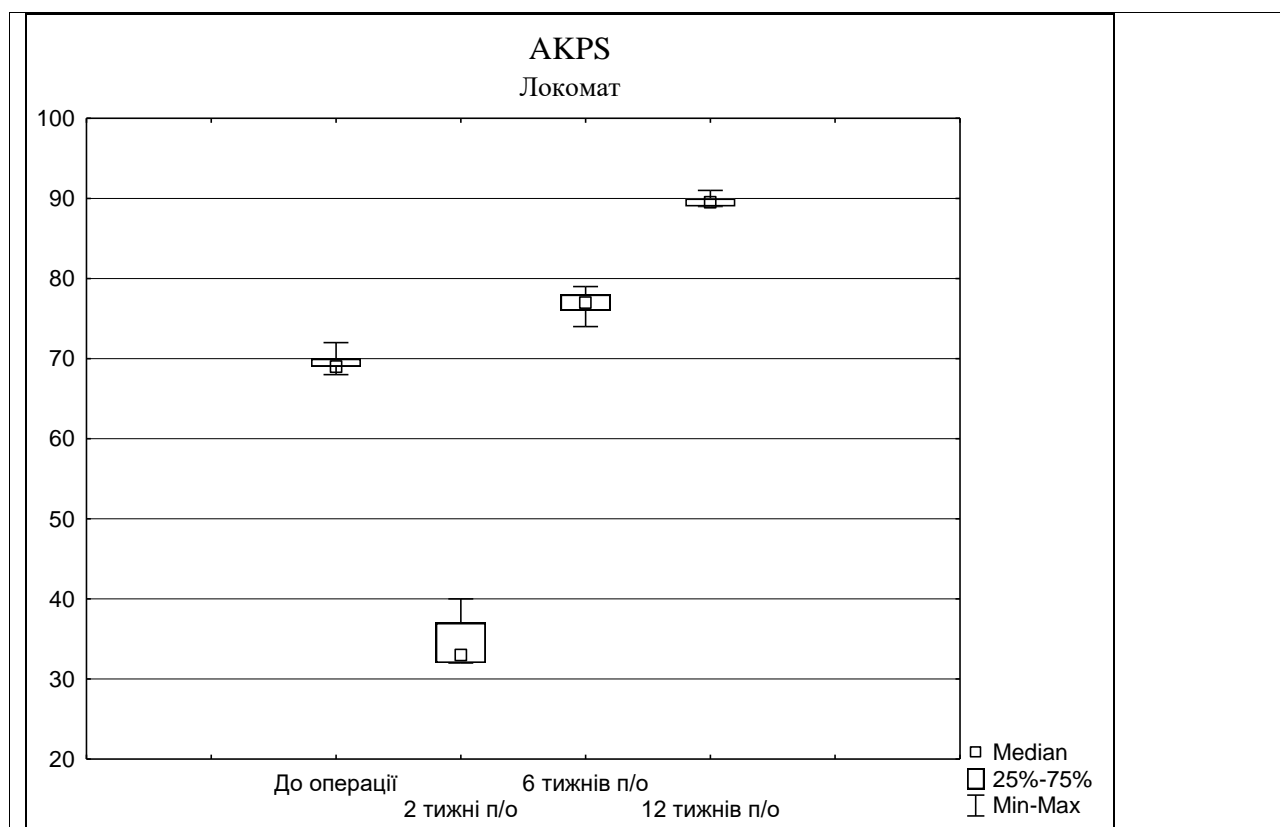


Рисунок 7.3 – Діаграма. Оцінка впливу фактору часу в групі дослідження на показник AKPS (Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance, ANOVA Chi Sqr. (N = 60, df = 3) = 180,0000 p < 0,001).

Таблиця 7.4

Внутрішньогрупова динаміка показника AKPS у групі дослідження, Me (LQ–UQ)

	До операції	2 тижні п/о	Z	p-value
AKPS	69 (69 - 70)	33 (32 - 37)	9,44	< 0,001
	До операції	6 тижнів п/о	Z	p-value
AKPS	69 (69 - 70)	77 (76 - 78)	-9,44	< 0,001
	До операції	12 тижнів п/о	Z	p-value
AKPS	69 (69 - 70)	89,5 (89 - 90)	-9,44	< 0,001
	2 тижні п/о	6 тижнів п/о	Z	p-value
AKPS	33 (32 - 37)	77 (76 - 78)	-9,44	< 0,001
	2 тижні п/о	12 тижнів п/о	Z	p-value
AKPS	33 (32 - 37)	89,5 (89 - 90)	-9,44	< 0,001
	6 тижні п/о	12 тижнів п/о	Z	p-value

AKPS	77 (76 - 78)	89,5 (89 - 90)	-9,44	< 0,001
------	--------------	----------------	-------	---------

### 7.2.2. Внутрішньогрупова динаміка показників AKPS у групі порівняння

У групі порівняння до операції медіана показника AKPS становила 69 (69–70) балів. Через 14 днів після хірургічного втручання цей показник різко знижувався до 32 (28–34) балів, що свідчило про суттєве погіршення функціонального стану колінного суглоба та вираженість симптомів переднього болю в ранньому післяопераційному періоді. Різниця між доопераційним рівнем і 14-м днем після операції була статистично значущою ( $p < 0,001$ ).

Через 6 тижнів після операції у пацієнтів групи порівняння відзначали покращення показника AKPS до 64,5 (64–66) бала. Порівняно з 14-м днем після операції це покращення було статистично значущим ( $p < 0,001$ ), що свідчило про поступове відновлення функціонального стану колінного суглоба. Водночас показник через 6 тижнів залишався достовірно нижчим за доопераційний рівень ( $p < 0,001$ ), тобто на цьому етапі функціональне відновлення ще не було завершеним.

Через 12 тижнів після операції медіана AKPS у групі порівняння становила 76 (76–76) балів. Порівняно з показником через 6 тижнів відзначалося подальше статистично значуще покращення ( $p < 0,001$ ). Крім того, показник через 12 тижнів був достовірно вищим не лише порівняно з 14-м днем після операції ( $p < 0,001$ ), а й порівняно з доопераційним рівнем ( $p < 0,001$ ). Це свідчить, що до 12-го тижня після операції у пацієнтів групи порівняння відбувалося не лише відновлення функції колінного суглоба після раннього післяопераційного погіршення, а й вихід на вищий функціональний рівень, ніж до хірургічного втручання.

Загалом аналіз у групі порівняння показав статистично значущий вплив фактора часу на показник AKPS (Friedman ANOVA  $\chi^2 = 180,0$ ;  $p < 0,001$ ). Усі попарні часові порівняння в межах групи були статистично значущими, що вказувало на послідовну й достовірну зміну функціонального стану колінного суглоба протягом усього періоду спостереження (рис. 7.4, табл. 7.5).

У групі порівняння медіана АКPS до операції становила 69 балів, через 14 днів після операції – 32 бали, через 6 тижнів – 64,5 бала, а через 12 тижнів – 76 балів. Таким чином, на 14-й день після операції порівняно з доопераційним рівнем відбулося зниження показника на 53,6%, що відображало суттєве погіршення функціонального стану колінного суглоба в ранньому післяопераційному періоді. Через 6 тижнів після операції, порівняно з 14-м днем, показник АКPS зріс на 101,6%, що свідчило про виражене функціональне покращення після початку фізичної терапії. Через 12 тижнів порівняно з 14-м днем показник уже був вищим на 137,5%, а порівняно з 6-м тижнем – ще додатково зростав на 17,8%. Порівняння даних з доопераційним рівнем, то через 6 тижнів показник АКPS у групі порівняння залишався на 6,5% нижчим, ніж до операції, тоді як через 12 тижнів уже перевищував доопераційне значення на 10,1%. Це свідчить, що в контрольній групі функціональне відновлення відбувалося поступово: після вираженого раннього погіршення до 6-го тижня пацієнти ще не повністю досягали передопераційного функціонального рівня, а його перевищення спостерігалось лише до 12-го тижня після операції.

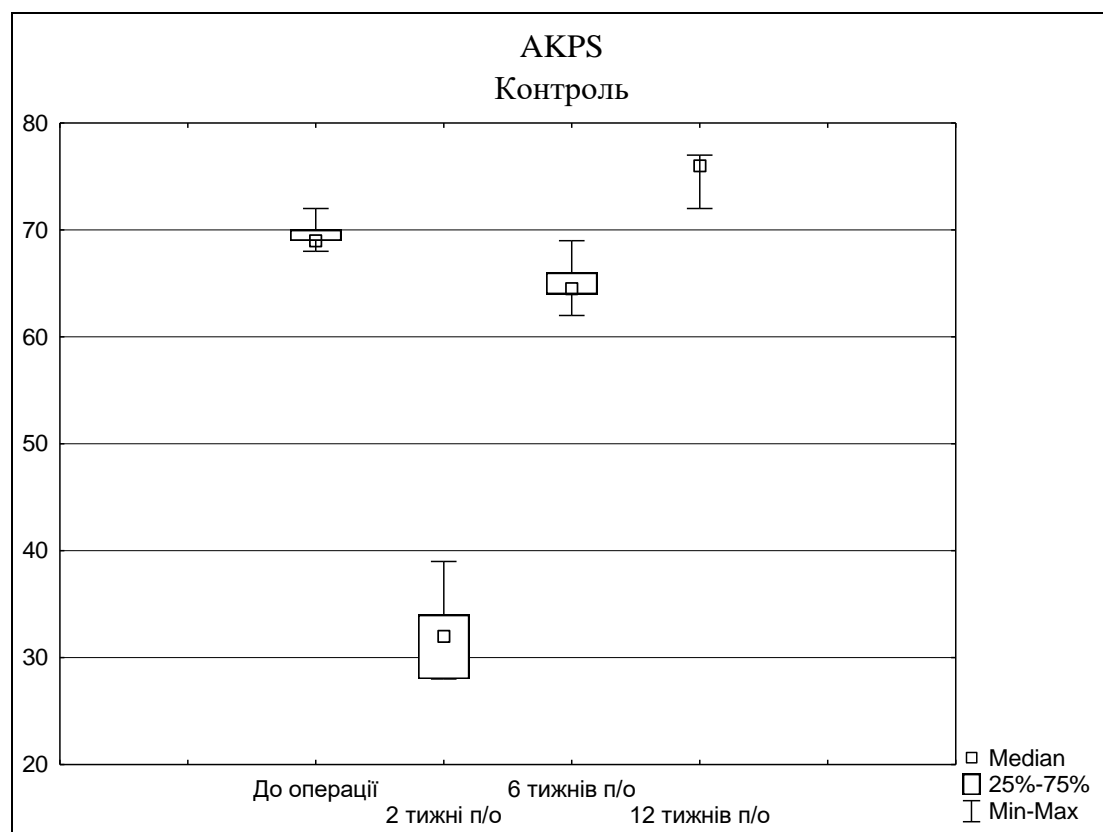


Рисунок 7.4 – Діаграма. Оцінка впливу фактору часу в групі порівняння на показник AKPS (Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance, ANOVA Chi Sqr. (N = 60, df = 3) = 180,0000 p < 0,001).

Таблиця 7.5

Внутрішньогрупова динаміка показника AKPS у групі порівняння, Me (LQ–UQ)

	До операції	2 тижні п/о	Z	p-value
AKPS	69 (69 - 70)	32 (28 - 34)	9,44	< 0,001
	До операції	6 тижнів п/о	Z	p-value
AKPS	69 (69 - 70)	64,5 (64 - 66)	9,21	< 0,001
	До операції	12 тижнів п/о	Z	p-value
AKPS	69 (69 - 70)	76 (76 - 76)	-9,42	< 0,001
	2 тижні п/о	6 тижнів п/о	Z	p-value
AKPS	32 (28 - 34)	64,5 (64 - 66)	-9,44	< 0,001
	2 тижні п/о	12 тижнів п/о	Z	p-value
AKPS	32 (28 - 34)	76 (76 - 76)	-9,44	< 0,001
	6 тижні п/о	12 тижнів п/о	Z	p-value
AKPS	64,5 (64 - 66)	76 (76 - 76)	-9,44	< 0,001



Для більш повної характеристики змін функціонального стану колінного суглоба додатково проведено аналіз відносної зміни медіани показника АКPS у часовій динаміці. Оскільки вищі значення АКPS відповідають кращому функціональному стану колінного суглоба, зниження показника трактували як погіршення функції, а його зростання – як функціональне відновлення. Розрахунок відсоткових змін проводили як відносну зміну медіани показника на відповідному етапі порівняно з попередньою або вихідною часовою точкою.

У групі порівняння медіана АКPS до операції становила 69 балів, через 14 днів після операції – 32 бали, через 6 тижнів – 64,5 бала, а через 12 тижнів – 76 балів. Таким чином, на 14-й день після операції порівняно з доопераційним рівнем відбулося зниження показника на 53,6%, що відображало суттєве погіршення функціонального стану колінного суглоба в ранньому післяопераційному періоді. Через 6 тижнів після операції, порівняно з 14-м днем, показник АКPS зріс на 101,6%, що свідчило про виражене функціональне покращення після початку фізичної терапії. Через 12 тижнів порівняно з 14-м днем показник уже був вищим на 137,5%, а порівняно з 6-м тижнем – ще додатково зростав на 17,8%. Якщо ж співставляти дані з доопераційним рівнем, то через 6 тижнів показник АКPS у групі порівняння залишався на 6,5% нижчим, ніж до операції, тоді як через 12 тижнів уже перевищував доопераційне значення на 10,1%. Це свідчить, що в групі порівняння функціональне відновлення відбувалося поступово: після вираженого раннього погіршення до 6-го тижня пацієнти ще не повністю досягали передопераційного функціонального рівня, а його перевищення спостерігалось лише до 12-го тижня після операції.

У групі дослідження медіана АКPS до операції також становила 69 балів, через 14 днів після операції – 33 бали, через 6 тижнів – 77 балів, а через 12 тижнів – 89,5 бала. На 14-й день після операції порівняно з доопераційним рівнем відбулося зниження показника на 52,2%, що, як і в групі порівняння, відображало раннє післяопераційне погіршення функціонального стану. Проте подальше відновлення в цій групі було швидшим. Через 6 тижнів після операції порівняно з 14-м днем АКPS зріс на 133,3%, а через 12 тижнів — на 171,2%. Додатково між

6-м і 12-м тижнями відзначено ще приріст на 16,2%. Якщо оцінювати показник відносно доопераційного рівня, то вже через 6 тижнів АКPS у групі дослідження був на 11,6% вищим, ніж до операції, а через 12 тижнів перевищував вихідний рівень на 29,7%. Отже, в групі дослідження функціональне відновлення відбувалося швидше, а повернення до рівня, вищого за доопераційний, спостерігалось вже на 6-му тижні після операції.

На доопераційному етапі статистично значущої різниці між групою порівняння та групою дослідження за показником АКPS не виявлено. В обох групах медіана становила 69 (69–70) балів ( $p=0,727$ ). Це свідчить про вихідну співставність досліджуваних груп за функціональним станом колінного суглоба до початку лікування.

Через 14 днів після хірургічного втручання, тобто безпосередньо перед початком різних програм фізичної терапії, між групами вже виявлялася статистично значуща різниця за АКPS. У групі порівняння медіана показника становила 32 (28–34) бали, тоді як у групі дослідження – 33 (32–37) бали ( $p<0,001$ ).

Через 6 тижнів після операції між групами виявлено чітку статистично значущу різницю за показником АКPS. У групі порівняння медіана становила 64,5 (64–66) бала, тоді як у групі дослідження – 77 (76–78) балів ( $p<0,001$ ), тобто була на 19,4% вищою. Таким чином, уже через 6 тижнів після початку диференційованого впливу фізичної терапії пацієнти групи дослідження демонстрували кращий функціональний стан колінного суглоба та меншу вираженість симптомів переднього болю порівняно з групою порівняння.

Через 12 тижнів після операції міжгрупові відмінності не лише зберігалися, а й ставали ще більш вираженими. У групі порівняння показник АКPS становив 76 (76–76) балів, тоді як у групі дослідження – 89,5 (89–90) бала ( $p<0,001$ ), і отже в основній групі медіана АКPS була на 17,8% вищою, ніж у контрольній. Таким чином, після початку фізичної терапії функціональна перевага групи дослідження ставала чітко помітною вже на 6-му тижні після операції та зберігалася до 12-го тижня спостереження (табл. 7.6).

Таблиця 7.6

Порівняння показника АКPS між групами, критерій Манна–Уїтні, Me (LQ–UQ)

	Порівняння, N = 60	Дослідження, N = 60	Z	p-value
До операції	69 (69 - 70)	69 (69 - 70)	0,35	0,727
2 тижні п/о	32 (28 - 34)	33 (32 - 37)	-4,29	< 0,001
6 тижнів п/о	64,5 (64 - 66)	77 (76 - 78)	-9,44	< 0,001
12 тижнів п/о	76 (76 - 76)	89,5 (89 - 90)	-9,44	< 0,001

Відсотковий аналіз медіани показника АКPS підтвердив, що в обох групах післяопераційно відбувалося виражене початкове зниження функціонального стану колінного суглоба, однак подальше відновлення мало різну інтенсивність. У групі порівняння на 14-й день після операції АКPS зменшувався на 53,6% порівняно з доопераційним рівнем, а через 12 тижнів перевищував вихідне значення лише на 10,1%. У групі дослідження на 14-й день показник знижувався на 52,2%, однак уже через 6 тижнів перевищував доопераційний рівень на 11,6%, а через 12 тижнів – на 29,7%. Після початку фізичної терапії приріст АКPS у групі дослідження був більш вираженим: від 14-го дня до 12-го тижня він становив 171,2% проти 137,5% у контрольній групі. Крім того, міжгрупова різниця на користь групи дослідження становила 19,4% через 6 тижнів і 17,8% через 12 тижнів після операції, що свідчить про вищу ефективність фізичної терапії із застосуванням роботизованого ортеза щодо відновлення функціонального стану колінного суглоба.

### 7.3. Динаміка функціонального стану колінного суглоба за Lysholm

Оцінку функціонального стану колінного суглоба в пацієнтів досліджуваних груп проводили за шкалою Lysholm в чотири контрольні терміни: до операції, через 14 днів після хірургічного втручання, через 6 тижнів та через 12 тижнів після операції. Вищі значення шкали Lysholm відповідали кращому функціональному стану колінного суглоба. При інтерпретації результатів враховували, що до 14-го дня післяопераційного періоду всі пацієнти проходили однакове обстеження та однакове післяопераційне ведення, а розподіл на групу

порівняння та групу дослідження (фізична терапія з РО) із застосуванням роботизованого ортеза здійснювали саме на 14-й день після операції.

### **7.3.1. Внутрішньогрупова динаміка показників за шкалою Lysholm в групі дослідження**

У групі дослідження із застосуванням роботизованого ортеза до операції медіана показника за шкалою Lysholm становила 64 (55–66) бали. Через 14 днів після хірургічного втручання цей показник, як і в контрольній групі, різко знижувався до 36 (25–37) балів. Різниця між доопераційним рівнем і 14-м днем після операції була статистично значущою ( $p < 0,001$ ). У відсотковому вираженні це також відповідало зниженню медіани на 43,8%. Таким чином, у ранньому післяопераційному періоді обидві групи мали подібне функціональне погіршення, що є цілком закономірним з огляду на однакові умови ведення пацієнтів до початку диференційованої фізичної терапії.

Через 6 тижнів після операції в групі дослідження показник за шкалою Лісхольма зростав до 76 (68–84) балів. Порівняно з 14-м днем після операції це покращення було статистично значущим ( $p < 0,001$ ), а відносне зростання медіани становило 111,1%. Порівняно з доопераційним рівнем також виявлено статистично значущу різницю ( $p < 0,001$ ), а медіана перевищувала доопераційне значення на 18,8%. Це вказує на більш швидке і більш виражене відновлення функціонального стану колінного суглоба в пацієнтів основної групи вже в ранній період після початку фізичної терапії.

Через 12 тижнів після операції медіана показника за шкалою Lysholm у групі дослідження досягала 90 (84–91) балів. Це значення було статистично значуще вищим порівняно з доопераційним рівнем ( $p < 0,001$ ), з 14-м днем після операції ( $p < 0,001$ ) та з 6-м тижнем спостереження ( $p < 0,001$ ). Порівняно з 14-м днем після операції медіана зростала на 150,0%, порівняно з 6-м тижнем – ще на 18,4%, а порівняно з доопераційним рівнем перевищувала вихідне значення на 40,6%. Це свідчить, що до 12-го тижня після операції в основній групі досягався найбільш виражений функціональний ефект серед усіх часових точок спостереження (рис. 7.5, табл. 7.7).

Загалом у групі дослідження всі попарні часові порівняння за шкалою Lysholm були статистично значущими ( $p < 0,001$ ), що підтверджує не лише послідовну, а й більш інтенсивну позитивну динаміку функціонального стану колінного суглоба в процесі лікування. Отже, у пацієнтів основної групи відновлення функціонального стану відбувалося швидше, ніж у контрольній групі, і вже на 6-му тижні після операції супроводжувалося перевищенням доопераційного рівня.

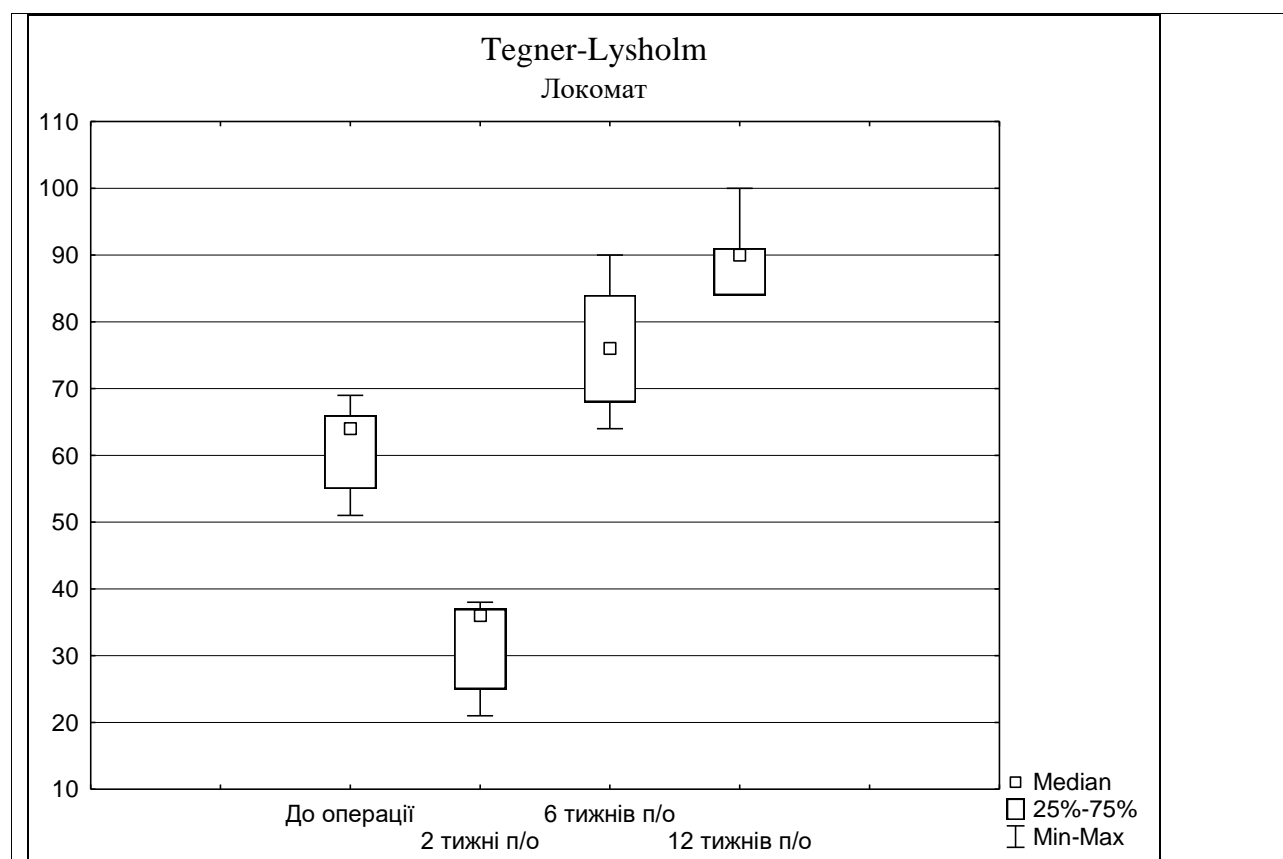


Рисунок 7.5 – Діаграма. Оцінка впливу фактору часу в групі Дослідження на показник Lysholm (Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance, ANOVA Chi Sqr. ( $N = 60$ ,  $df = 3$ ) = 173,77,  $p < 0,001$ ).

Таблиця 7.7

Внутрішньогрупова динаміка показника Lysholm у групі дослідження, Me (LQ–UQ)

	До операції	2 тижні п/о	Z	p-value
Lysholm	64 (55 - 66)	36 (25 - 37)	9,44	< 0,001
	До операції	6 тижнів п/о	Z	p-value
Lysholm	64 (55 - 66)	76 (68 - 84)	-8,26	< 0,001
	До операції	12 тижнів п/о	Z	p-value
Lysholm	64 (55 - 66)	90 (84 - 91)	-9,44	< 0,001
	2 тижні п/о	6 тижнів п/о	Z	p-value
Lysholm	36 (25 - 37)	76 (68 - 84)	-9,44	< 0,001
	2 тижні п/о	12 тижнів п/о	Z	p-value
Lysholm	36 (25 - 37)	90 (84 - 91)	-9,44	< 0,001
	6 тижні п/о	12 тижнів п/о	Z	p-value
Lysholm	76 (68 - 84)	90 (84 - 91)	-7,06	< 0,001

### 7.3.2. Внутрішньогрупова динаміка показників за шкалою Lysholm в групі порівняння

У групі порівняння до операції медіана показника за шкалою Lysholm становила 64 (59–66) бали. Через 14 днів після хірургічного втручання цей показник знижувався до 36 (28–38) балів, що свідчило про різке погіршення функціонального стану колінного суглоба в ранньому післяопераційному періоді. Різниця між доопераційним рівнем і 14-м днем після операції була статистично значущою ( $p < 0,001$ ). У відсотковому вираженні це відповідало зниженню медіани показника на 43,8% порівняно з доопераційним рівнем.

Через 6 тижнів після операції у пацієнтів групи порівняння відзначалося покращення функціонального стану: медіана показника за шкалою Lysholm зростала до 68,5 (58–76) бала. Порівняно з 14-м днем після операції це покращення було статистично значущим ( $p < 0,001$ ), а у відсотковому вираженні приріст становив 90,3%. Водночас порівняно з доопераційним рівнем показник через 6 тижнів також був вищим, а різниця досягала статистичної значущості

( $p < 0,05$ ). У відсотковому вираженні медіана перевищувала доопераційний рівень на 7,0%. Це свідчить, що вже через 6 тижнів після операції в контрольній групі відбувалося не лише відновлення після раннього функціонального погіршення, а й вихід на дещо вищий рівень функціонування, ніж до хірургічного втручання.

Через 12 тижнів після операції медіана показника за шкалою Lysholm в групі порівняння досягала 84 (76–85) балів. Порівняно з 14-м днем після операції вона зростала на 133,3%, а порівняно з 6-м тижнем – ще на 22,6%. Усі ці зміни були статистично значущими: у порівнянні з 14-м днем ( $p < 0,001$ ), з 6-м тижнем ( $p < 0,001$ ) та з доопераційним рівнем ( $p < 0,001$ ). Порівняно з доопераційним рівнем підвищення медіани показника становило 31,3%. Це свідчить, що у контрольній групі до 12-го тижня після операції функціональний стан колінного суглоба не лише відновлювався після раннього післяопераційного дефіциту, а й суттєво покращувався відносно вихідного рівня (рис. 7.6, табл. 7.8).

Загалом аналіз у групі порівняння показав статистично значущий вплив фактора часу на показник за шкалою Lysholm. Усі попарні часові порівняння в межах групи були статистично значущими, за винятком того, що порівняння доопераційного рівня з 6-м тижнем мало нижчий рівень значущості ( $p < 0,05$ ), але також підтверджувало позитивну динаміку. Отже, у групі порівняння функціональне відновлення відбувалося поступово: після вираженого погіршення в ранньому післяопераційному періоді спостерігалось стійке покращення на 6-му та 12-му тижнях спостереження.

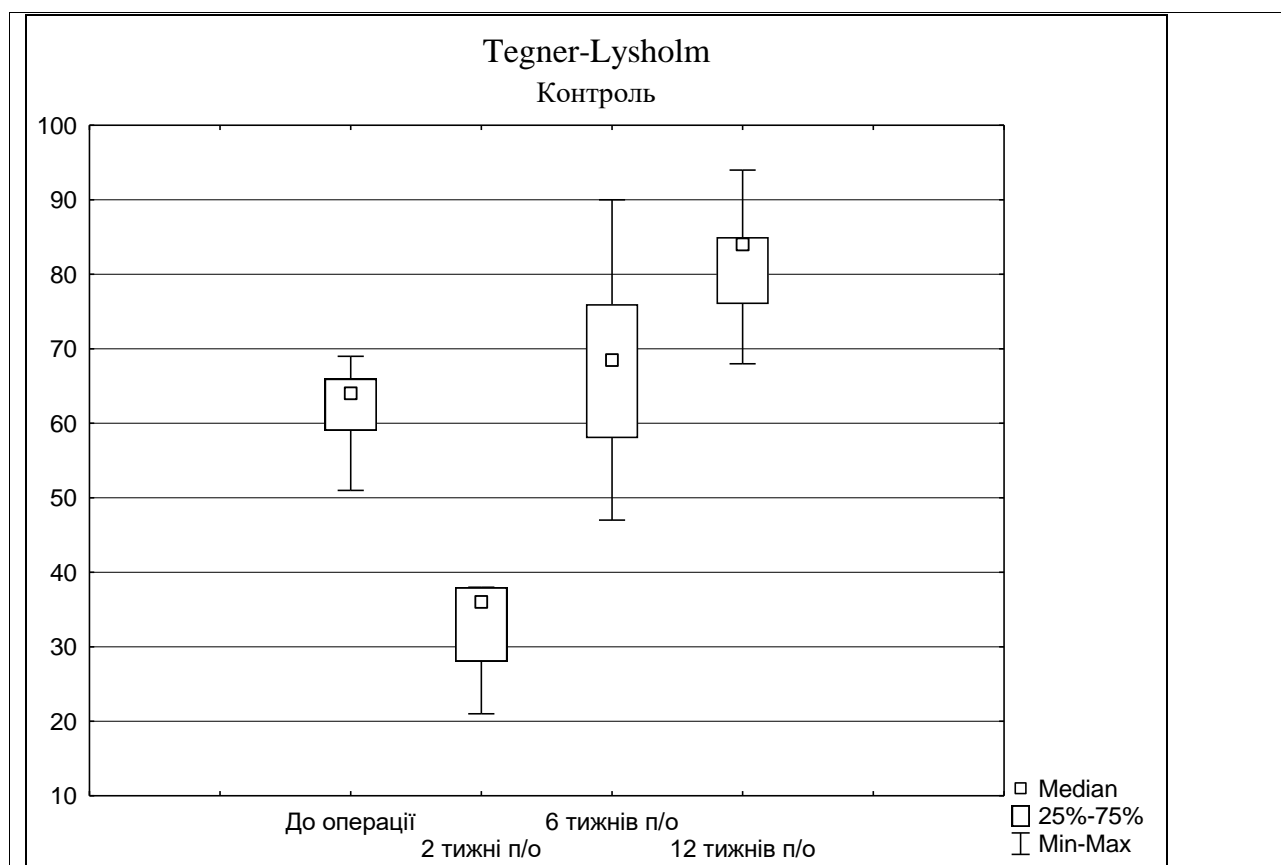


Рисунок 7.6 – Діаграма. Оцінка впливу фактору часу в групі порівняння на показник Tegner-Lysholm (Friedman ANOVA and Kendall Coeff. of Concordance, ANOVA Chi Sqr. (N = 60, df = 3) = 159,31,  $p < 0,001$ ).

Таблиця 7.8

Внутрішньогрупова динаміка показника Lysholm у групі порівняння, Me (LQ–UQ)

	До операції	2 тижні п/о	Z	p-value
Lysholm	64 (59 - 66)	36 (28 - 38)	9,44	< 0,001
	До операції	6 тижнів п/о	Z	p-value
Lysholm	64 (59 - 66)	68,5 (58 - 76)	-2,22	< 0,05
	До операції	12 тижнів п/о	Z	p-value
Lysholm	64 (59 - 66)	84 (76 - 85)	-8,78	< 0,001
	2 тижні п/о	6 тижнів п/о	Z	p-value
Lysholm	36 (28 - 38)	68,5 (58 - 76)	-9,44	< 0,001
	2 тижні п/о	12 тижнів п/о	Z	p-value
Lysholm	36 (28 - 38)	84 (76 - 85)	-9,44	< 0,001



	6 тижні п/о	12 тижнів п/о	Z	p-value
Lysholm	68,5 (58 - 76)	84 (76 - 85)	-5,69	< 0,001

### 7.3.3. Порівняння показників за шкалою Lysholm між групами

Проведено аналіз відносної зміни медіани показника за шкалою Lysholm в часовій динаміці. У групі порівняння на 14-й день після операції медіана зменшувалася на 43,8% порівняно з доопераційним рівнем. Через 6 тижнів вона зростала на 90,3% порівняно з 14-м днем та на 7,0% порівняно з доопераційним рівнем. Через 12 тижнів після операції приріст становив 133,3% порівняно з 14-м днем, 22,6% порівняно з 6-м тижнем та 31,3% порівняно з доопераційним рівнем. Отже, у групі порівняння функціональне відновлення за шкалою Lysholm мало поступовий, але стабільно позитивний характер.

У групі дослідження на 14-й день після операції медіана показника, як і в групі порівняння, знижувалася на 43,8% порівняно з доопераційним рівнем. Однак у подальшому функціональне відновлення було більш вираженим: через 6 тижнів показник зростав на 111,1% порівняно з 14-м днем та на 18,8% порівняно з доопераційним рівнем. Через 12 тижнів після операції медіана шкали Lysholm зростала на 150,0% порівняно з 14-м днем, на 18,4% порівняно з 6-м тижнем та на 40,6% порівняно з доопераційним рівнем. Це підтверджує, що після початку фізичної терапії приріст функціонального показника в групі дослідження був вищим, ніж у групі порівняння.

Особливо показовим є порівняння саме від 14-го дня після операції, тобто від моменту початку диференційованого впливу фізичної терапії. Від 14-го дня до 12-го тижня після операції у контрольній групі медіана шкали Lysholm зросла на 133,3%, тоді як у групі дослідження – на 150,0%. Отже, приріст функціонального показника за шкалою Lysholm після початку фізичної терапії в основній групі був на 16,7 процентного пункту більшим, ніж у контрольній. Це ще раз підтверджує кращу ефективність фізичної терапії із застосуванням роботизованого ортеза щодо відновлення функціонального стану КоС (табл. 7.9).

Таблиця 7.9

Порівняння показника Lysholm між групами, критерій Манна–Уїтні, Me (LQ–UQ)

	Порівняння, N = 60	Дослідження, N = 60	Z	p-value
До операції	64 (59 - 66)	64 (55 - 66)	0,73	0,467
2 тижні п/о	36 (28 - 38)	36 (25 - 37)	0,53	0,598
6 тижнів п/о	68,5 (58 - 76)	76 (68 - 84)	-3,94	< 0,001
12 тижнів п/о	84 (76 - 85)	90 (84 - 91)	-6,00	< 0,001

В обох досліджуваних групах у процесі спостереження відбувалося статистично значуще покращення функціонального стану колінного суглоба за шкалою Lysholm. У групі порівняння після різкого зниження показника в ранньому післяопераційному періоді відбувалося поступове відновлення функції, причому до 12-го тижня медіана перевищувала доопераційний рівень на 31,3%. У групі дослідження позитивна динаміка була більш вираженою: уже через 6 тижнів медіана перевищувала доопераційний рівень на 18,8%, а через 12 тижнів – на 40,6%. Відсутність міжгрупових відмінностей до операції та через 14 днів після втручання підтверджує співставність груп і правильність дизайну дослідження. Водночас статистично значуща перевага групи дослідження через 6 і 12 тижнів після операції, а також більший приріст функціонального показника від 14-го дня до 12-го тижня, свідчать про вищу ефективність застосованої програми відновного лікування щодо відновлення функціонального стану колінного суглоба.

#### **7.4. Узагальнення результатів оцінки ефективності фізичної терапії із застосуванням роботизованого ортеза**

Проведений аналіз динаміки показників больового синдрому та функціонального стану колінного суглоба засвідчив, що в обох групах у ранньому післяопераційному періоді відбувалося закономірне погіршення клініко-функціональних показників. Через 14 днів після операції в обох групах зберігався виражений больовий синдром та низькі функціональні показники без достовірних міжгрупових відмінностей, що є закономірним: до цього терміну всі

пацієнти перебували в однакових умовах, роботизована фізична терапія у групі дослідження не була розпочата. Відсутність міжгрупових відмінностей до операції та через 14 днів підтверджує вихідну співставність груп і методологічну коректність дослідження.

Після початку диференційованої фізичної терапії динаміка в обох групах була позитивною, однак її інтенсивність суттєво відрізнялася. У групі порівняння від 14-го дня до 12-го тижня після операції редукція болю за ВАШ становила 60,0%, приріст AKPS — 137,5%, приріст Lysholm — 133,3%. У групі дослідження ці показники були вищими: редукція ВАШ — 80,0%, приріст AKPS — 171,2%, приріст Lysholm — 150,0%. Узагальнені дані наведено в таблиці 7.10.

Таблиця 7.10

Узагальнення міжгрупових відмінностей за основними показниками через 6 та 12 тижнів після операції

Показник	Порівняння , 6 тижнів	Дослідження , 6 тижнів	Різниця , %	Порівняння , 12 тижнів	Дослідження , 12 тижнів
ВАШ, балів	3 (3–4)	2 (1–2)	–33,3%	2 (2–3)	1 (0–1)
AKPS, балів	64,5 (64–66)	77 (76–78)	+19,4%	76 (76–76)	89,5 (89–90)
Lysholm, балів	68,5 (58–76)	76 (68–84)	+10,9%	84 (76–85)	90 (84–91)
p (міжгрупове)		< 0,001			< 0,001

Таким чином, включення роботизованого ортеза до програми відновного лікування пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка після артроскопічної резекції меніска забезпечує більш швидке зменшення больового синдрому, більш виражене покращення функціонального стану колінного суглоба та більш високі темпи відновлення порівняно з традиційною фізичною терапією. Отримані результати підтверджують патогенетичну обґрунтованість і клінічну ефективність запропонованої програми.

## АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведене дослідження було присвячене вирішенню актуального завдання сучасної травматології та ортопедії – підвищенню ефективності відновного лікування пацієнтів із ТН після артроскопії КоС. Відповідно до поставленої мети в роботі комплексно вивчено клінічні прояви, функціональний стан КоС, ультразвукові характеристики тканини ВЗН, показники сили м'язів нижньої кінцівки, особливості ВНР, а також біомеханічні умови функціонування КоС в нормі та в умовах гіпотрофії чотириголового м'яза стегна. Саме такий багатокомпонентний підхід дозволив розглянути ТН не як ізольовану локальну проблему, а як патологічний стан, у формуванні та клінічному перебігу якого поєднуються структурні, функціональні, м'язові, біомеханічні та адаптаційно-регуляторні порушення.

У роботі проаналізовано результати обстеження 120 пацієнтів із ТН, відібраних після артроскопічної резекції меніска КоС. Пацієнтів було розподілено на дві групи по 60 осіб. У ранньому післяопераційному періоді до 14-го дня після операції всі хворі перебували в однакових умовах відновного лікування: отримували рекомендації щодо ранньої активації та виконання комплексу домашніх фізичних вправ. Таким чином, оцінка впливу фізичної терапії з використанням роботизованої техніки починався лише з 14-го дня після операції, коли пацієнтів із ранніми клінічними та інструментальними проявами ТН включали в дослідження. Надалі в групі дослідження до стандартної програми відновного лікування додатково включали курс фізичної терапії із застосуванням РО, тоді як у групі порівняння продовжували традиційну фізичну терапію. Така організація дослідження є важливою для правильної інтерпретації отриманих результатів, оскільки відсутність міжгрупових відмінностей до 14-го дня не є недоліком дослідження, а, навпаки, підтверджує вихідну співставність груп.

Аналіз клінічної картини показав, що ТН після артроскопічної резекції меніска КоС характеризується високою частотою як локальних больових симптомів, так і функціонально-навантажувальних проявів. Найчастішою клінічною ознакою була болючість при присіданні на оперованій нижній

кінцівці, яку виявляли у 116 із 120 пацієнтів, що становило 96,7%. Біль при максимальному вертикальному стрибку або зниження висоти стрибка реєстрували у 109 (90,8%) випадках, симптом «кінотеатру» – у 108 (90,0%), фокальну болючість у нижньому ВЗН – у 103 (85,8%), дифузну болючість уздовж зв'язки – у 102 (85,0%), біль, пов'язаний із навантаженням або його посилення після стрибків, – у 101 (84,2%), болючість при опорі розгинанню колінного суглоба – у 98 (81,7%) пацієнтів. Важливо, що у 92 із 120 пацієнтів, тобто у 76,7%, виявляли шість або сім позитивних клінічних симптомів одночасно. Це свідчить про високу насиченість клінічної картини і дозволяє стверджувати, що ТН після артроскопічної резекції меніска КоС реалізується як багатосимптомний синдром, у якому локальна болючість поєднується з функціональним дефіцитом розгинального апарату КоС.

Ультразвукове дослідження доповнило клінічну характеристику патології та підтвердило, що в більшості випадків ТН має чіткий структурний еквівалент. Найчастіше виявляли зміну контурів зв'язки – у 107 пацієнтів, що становило 89,2%, зниження ехогенності – у 103 (85,8%), підвищення васкуляризації – у 102 (85,0%), а збільшення товщини порівняно з контралатеральною стороною – у 69 (57,5%) випадках. Таким чином, найбільш типовими сонографічними проявами були саме змінені контури, зниження ехогенності та посилення васкуляризації, тоді як потовщення виявлялося рідше. Особливо важливим є те, що в більшості пацієнтів реєстрували не ізольовані, а комбіновані ультразвукові зміни: у 65 (54,2%) випадках визначали три патологічні УЗ-ознаки одночасно, а у 38 (31,7%) – усі чотири. Це дозволяє розглядати тендинопатію власної зв'язки наколінка в післяопераційному періоді як клініко-морфологічний синдром із достатньо характерною сонографічною картиною.

Отримані клінічні та сонографічні результати набувають додаткового патогенетичного змісту при зіставленні з даними біомеханічного моделювання. Проведений біомеханічний аналіз показав, що в умовах гіпотрофії ЧМС стегна виникає виражений перерозподіл навантаження в пателофеморальному суглобі та в ВЗН. Зокрема, при 30° згинання КоС в умовах гіпотрофії латеральна сила

становила 621,4 Н, тоді як медіальна – лише 221 Н, що свідчило про виражену латералізацію контактної зони. При 60° згинання напруження в зв'язці досягало 6,8 МПа, а локальні піки в пателофemorальному сегменті – 13,116 МПа. При 90° згинання максимальні напруження концентрувалися в ділянці прикріплення власної зв'язки наколінка та в латеральному відділі пателофemorального контакту й досягали 11,6 МПа. Отже, гіпотрофія ЧМС створює умови для перевантаження ВЗН, а відновлення м'язового забезпечення КоС має не лише функціональне, а й патогенетичне значення.

Аналіз функціонального стану КоС за ВАШ, АКPS і шкалою Lysholm підтвердив, що в ранньому післяопераційному періоді до 14-го дня в обох групах відбувалося закономірне погіршення всіх показників. За ВАШ медіана в групі порівняння становила 6 (5–7) балів до операції та 5 (4–6) балів через 14 днів після втручання, тоді як в групі дослідження – відповідно 7 (5–7) і 5 (4–5) балів. За АКPS у групі порівняння медіана зменшувалася з 69 (69–70) до 32 (28–34) балів, а в групі дослідження – з 69 (69–70) до 33 (32–37) балів. За шкалою Lysholm у групі порівняння показник знижувався з 64 (59–66) до 36 (28–38) балів, а в групі дослідження – з 64 (55–66) до 36 (25–37) балів. Відсутність суттєвих міжгрупових відмінностей на цьому етапі ще раз підтверджує, що до початку диференційованої фізичної терапії пацієнти були співставними.

Після початку фізичної терапії з використанням роботизованого ортеза позитивна динаміка в групі дослідження була більш швидкою та більш вираженою. Уже через 6 тижнів після операції медіана ВАШ в групі дослідження становила 2 (1–2) бали, тоді як у контрольній – 3 (3–4) бали. Через 12 тижнів відповідні значення становили 1 (0–1) і 2 (2–3) бали. Отже, в групі дослідження редукція болю від 14-го дня до 12-го тижня була більш вираженою. Аналогічна закономірність спостерігалась і щодо функціональних шкал. Через 6 тижнів після операції медіана АКPS становила 77 (76–78) балів в групі дослідження проти 64,5 (64–66) балів у групі порівняння, а через 12 тижнів – 89,5 (89–90) проти 76 (76–76) балів відповідно. За шкалою Лісхольма через 6 тижнів медіана становила 76 (68–84) балів у групі дослідження та 68,5 (58–76) балів у групі

порівняння, а через 12 тижнів – 90 (84–91) проти 84 (76–85) балів. Таким чином, застосування роботизованого ортеза забезпечувало не лише швидшу редукцію болю, а й більш повне відновлення функціонального стану колінного суглоба.

Окремий інтерес становить аналіз відносної динаміки показників. У групі дослідження від 14-го дня до 12-го тижня після операції інтенсивність болю за ВАШ зменшувалася на 80,0%, тоді як у групі порівняння – на 60,0%. Приріст АКPS за той самий період в групі дослідження становив 171,2%, а у групі порівняння контрольній – 137,5%. За шкалою Lysholm приріст у групі дослідження становив 150,0%, тоді як у групі порівняння – 133,3%. Ці розрахункові показники підтверджують, що в групі дослідження клініко-функціональне відновлення відбувалося інтенсивніше, а ефект додаткового застосування РО мав не лише статистичну, а й клінічну значущість.

Аналіз сили м'язів-розгиначів КоС показав, що після операції в обох групах відбувалося виражене зниження силових показників. У групі дослідження медіана сили м'язів-розгиначів КоС знижувалася з 76,0 Н·м до операції до 47,5 Н·м через 14 днів після втручання, тоді як у групі порівняння – з 77,0 до 50,5 Н·м. Надалі в обох групах спостерігалось відновлення, але у групі дослідження воно було швидшим. Через 6 тижнів медіана сили розгиначів становила 69,5 Н·м в групі дослідження та 62,0 Н·м у групі порівняння, а через 3 місяці – 76,0 і 72,0 Н·м відповідно. Важливо, що в групі дослідження через 3 місяці показник фактично досягав доопераційного рівня, тоді як у групі порівняння залишався на 6,5% нижчим за нього. Це дозволяє розглядати покращення силових характеристик як один із важливих механізмів позитивного клінічного ефекту програми фізичної терапії із застосуванням РО.

Дослідження ВНР показало, що після артроскопічної резекції меніска КоС в ранньому післяопераційному періоді в обох групах формувалася виражений вегетативний дисбаланс. До операції у 100% пацієнтів обох груп визначали ейтонію та ритмограму I класу, що відповідало збалансованому вегетативному статусу. Через 14 днів після операції ейтонія зникала повністю, а симпатикотонія переважала в обох групах: 70,0% у групі дослідження і 73,3% у групі порівняння.

Одночасно реєстрували ритмограми II та III класів, що відображають помірне або виражене напруження регуляторних систем. Надалі в групі дослідження нормалізація вегетативного балансу відбувалася значно швидше. Через 6 тижнів ейтонію виявляли у 73,3% пацієнтів групи дослідження проти 35,0% у групі порівняння; ритмограму I класу – у 75,0% проти 35,0% відповідно. Через 12 тижнів ці показники становили 90,0% проти 63,3% для ейтонії та 90,0% проти 51,7% для ритмограми I класу. Це свідчить, що застосування РО позитивно впливало не лише на локальний функціональний стан КоС, а й на нормалізацію загальних адаптаційно-регуляторних механізмів організму.

Окремо слід відзначити вплив клініко-анамнестичних чинників на результати лікування. Вік пацієнтів був більшою мірою пов'язаний із функціональними показниками, тоді як ІМТ послідовніше асоціювався з вираженістю больового синдрому та частиною функціональних результатів. Так, у пацієнтів молодшого віку в обох групах частіше виявляли кращі показники АКPS, тоді як нижчий індекс маси тіла асоціювався з меншим болем за ВАШ і кращими окремими функціональними показниками. Водночас навіть за наявності такого впливу пацієнти групи роботдослідження демонстрували більш виражену позитивну динаміку, що підтверджує самостійний клінічний ефект запропонованої програми відновного лікування.

Узагальнюючи наведені результати, слід підкреслити, що ТН після артроскопії КоС є багатокомпонентним патологічним станом, який не може бути адекватно оцінений лише за однією клінічною або інструментальною ознакою. Її клінічна сутність визначається поєднанням локального болю, функціонального дефіциту, структурних змін у тканині зв'язки, зниження сили м'язів, порушень біомеханіки та змін ВНР. Отримані результати підтверджують, що розроблена програма відновного лікування із застосуванням РО є патогенетично обґрунтованою та клінічно ефективною. Її застосування забезпечує більш швидке зменшення больового синдрому, більш повне відновлення функціонального стану КоС, сили м'язів-розгиначів та вегетативного балансу, що дає підстави рекомендувати її до ширшого впровадження в практику



післяопераційної фізичної терапії пацієнтів після артроскопічних втручань на колінному суглобі.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове завдання сучасної травматології та ортопедії — покращення відновного лікування пацієнтів із ТН після артроскопічної резекції меніска колінного суглоба шляхом комплексної клініко-функціональної оцінки патології та розробки програми фізичної терапії із застосуванням роботизованого ортеза. На підставі проведеного дослідження сформульовано такі висновки:

1. Виявлено, що тендинопатія власної зв'язки наколінка після артроскопічної резекції меніска характеризується полісимптомним перебігом із поєднанням локального больового синдрому та виражених функціонально-навантажувальних проявів. Найчастішими клінічними ознаками є болючість при присіданні на оперованій нижній кінцівці (96,7%), біль при максимальному вертикальному стрибку або зниження його висоти (90,8%), симптом «кінотеатру» (90,0%), фокальна болючість у нижньому відділі власної зв'язки наколінка (85,8%), дифузна болючість уздовж зв'язки (85,0%), біль при навантаженні або після стрибків (84,2%), болючість при опорі розгинанню (81,7%). У 76,7% пацієнтів одночасно визначали 6–7 позитивних симптомів, що свідчить про комплексний та багатосимптомний характер патологічного процесу.
2. Функціональний стан колінного суглоба та чотириголового м'язу стегна у пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка після артроскопічної резекції меніска характеризується поєднанням структурних, силових і вегетативних порушень. За даними ультразвукового дослідження у більшості пацієнтів виявляли комбіновані структурні зміни зв'язки: зміну контурів (89,2%), зниження ехогенності (85,8%), підвищення васкуляризації (85,0%), збільшення товщини (57,5%); у 85,9% хворих реєстрували 3–4 патологічні ознаки одночасно. У ранньому післяопераційному періоді в усіх пацієнтів визначалося виражене зниження сили м'язів-розгиначів колінного суглоба та розвиток вегетативного дисбалансу з переважанням симпатикотонії (70,0–73,3%) і

появою ритмограм II–III класів у 100% випадків, що відображає напруження регуляторних систем у відповідь на хірургічне втручання.

3. Біомеханічне моделювання колінного суглоба при кутах згинання 30°, 60° та 90° показало, що в умовах гіпотрофії ЧМС відбувається патологічний перерозподіл навантаження в пателофemorальному комплексі з вираженою латералізацією контактної зони (переважання латеральної складової над медіальною у співвідношенні 2,8:1 проти 1,2:1 у нормі), підвищенням напружень у власній зв'язці наколінка у 1,5–1,8 раза (від 2,4 МПа при 30° до 11,6 МПа при 90°) та формуванням ексцентричних моментів до 9,4 Н·м. Отримані дані підтверджують патогенетичне значення м'язового дисбалансу у розвитку та підтриманні тендинопатії і обґрунтовують необхідність відновлення сили розгинального апарату як пріоритетного завдання фізичної терапії.
4. Розроблена програма відновного лікування із застосуванням роботизованого ортезу Locomat включає курс із 15 сеансів локомоторної терапії, розподілений на три фази по 5 сеансів упродовж чотирьох тижнів. Фаза I (сеанси 1–5) – адаптаційна: підтримка маси тіла 40–50%, діапазон рухів у колінному суглобі 0–45°, швидкість 0,8–1,0 км/год, сила наведення 80–100%, тривалість 10–15 хв. Фаза II (сеанси 6–10) – функціональна: підтримка маси тіла 20–35%, діапазон рухів 0–70°, швидкість 1,5–2,0 км/год, сила наведення 50–70%, тривалість 18–25 хв. Фаза III (сеанси 11–15) – зміцнювальна: підтримка маси тіла 10–20%, діапазон рухів 0–90°, швидкість 2,0–2,5 км/год, сила наведення 30–50%, тривалість 25–30 хв. Програма патогенетично обґрунтована результатами біомеханічного моделювання та клінічного дослідження і спрямована на відновлення рухового стереотипу, активацію розгинального апарату та нормалізацію вегетативної регуляції.
5. Оцінка ефективності розробленої програми підтвердила її переваги перед традиційною фізичною терапією за всіма досліджуваними показниками. Через 12 тижнів після операції в групі роботизованої фізичної терапії

медіана ВАШ становила 1 (0–1) бал проти 2 (2–3) балів у контрольній ( $p < 0,001$ ); АКPS – 89,5 (89–90) проти 76 (76–76) балів ( $p < 0,001$ ); Lysholm – 90 (84–91) проти 84 (76–85) балів ( $p < 0,001$ ). Від 14-го дня до 12-го тижня редукція болю за ВАШ в основній групі становила 80,0% проти 60,0%, приріст АКPS – 171,2% проти 137,5%, приріст Lysholm – 150,0% проти 133,3%. Сила м'язів-розгиначів в основній групі через 12 тижнів відновилась до доопераційного рівня (76,0 Н·м), тоді як у контрольній залишалася нижчою на 6,5% (72,0 Н·м;  $p = 0,011$ ). Ейтонія та ритмограма I класу через 12 тижнів реєструвалися у 90,0% пацієнтів основної групи проти 63,3% і 51,7% у контрольній, що свідчить про більш повну нормалізацію вегетативної регуляції. Практична значущість результатів полягає в можливості їх застосування в відновних відділеннях і центрах для підвищення ефективності відновного лікування пацієнтів після артроскопічних втручань на колінному суглобі.

## ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

На підставі результатів проведеного дослідження для практичної охорони здоров'я можуть бути запропоновані такі рекомендації:

1. З метою ранньої верифікації тендинопатії власної зв'язки наколінка після артроскопічної резекції меніска доцільно включати до клінічного огляду в післяопераційному періоді цілеспрямований скринінг найбільш чутливих симптомів — біль при присіданні на оперованій кінцівці, зниження висоти вертикального стрибка, симптом «кінотеатру» та фокальну болючість нижнього полюса зв'язки — у поєднанні з ультразвуковою оцінкою контурів, ехогенності, васкуляризації та товщини зв'язки.
2. Доцільно доповнювати клініко-функціональне обстеження пацієнтів у ранньому післяопераційному періоді оцінкою вегетативного балансу (варіабельність серцевого ритму), що дозволяє об'єктивізувати ступінь напруження регуляторних систем і своєчасно коригувати інтенсивність реабілітаційного навантаження.
3. Враховуючи отримані дані біомеханічного моделювання щодо патологічної латералізації навантаження в пателофеморальному комплексі за умов гіпотрофії чотириголового м'яза стегна, відновлення сили розгинального апарату колінного суглоба слід розглядати як пріоритетний патогенетично обґрунтований напрям програми фізичної терапії, а не як другорядний компонент реабілітації.
4. Для пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка після артроскопічної резекції меніска рекомендується впроваджувати розроблену тристадійну програму локомоторної терапії з використанням роботизованого ортеза Locomat (15 сеансів протягом чотирьох тижнів: адаптаційна, функціональна та зміцнювальна фази з поступовим зниженням підтримки маси тіла, розширенням діапазону рухів, збільшенням швидкості та зменшенням сили наведення відповідно до фази відновлення).
5. Параметри роботизованого тренування доцільно індивідуалізувати залежно від вираженості больового синдрому, сили м'язів-розгиначів та

клінічного перебігу відновного періоду, що дозволяє забезпечити поступове й контрольоване підвищення навантаження без ризику загострення тендинопатії.

6. Для об'єктивізації динаміки відновлення та своєчасної корекції програми реабілітації рекомендується здійснювати контроль ефективності лікування за стандартизованими шкалами (ВАШ, AKPS, Lysholm) на визначених контрольних точках — на 14-у добу, 6-й та 12-й тижні після операції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Millar N. L., Silbernagel K. G., Thorborg K. et al. Tendinopathy. *Nat. Rev. Dis. Primers*. 2021; 7(1). doi: 10.1038/s41572-020-00234-1.
2. Khan K. M., Cook J. L., Kannus P., Maffulli N., Bonar S. F. Time to abandon the "tendinitis" myth. *BMJ*. 2002; 324(7338): 626–627. doi: 10.1136/bmj.324.7338.626.
3. Dean B. J. F., Dakin S. G., Millar N. L., Carr A. J. Review: Emerging concepts in the pathogenesis of tendinopathy. *Surgeon*. 2017; 15(6): 349–354. doi: 10.1016/j.surge.2017.05.005.
4. Abate M., Silbernagel K. G., Siljeholm C. et al. Pathogenesis of tendinopathies: inflammation or degeneration? *Arthritis Res. Ther*. 2009; 11(3): 235. doi: 10.1186/ar2723.
5. McCreesh K., Lewis J. Continuum model of tendon pathology — where are we now? *Int. J. Exp. Pathol*. 2013; 94(4): 242–247. doi: 10.1111/iep.12029.
6. Cook J. L., Rio E., Purdam C. R. et al. Revisiting the continuum model of tendon pathology: what is its merit in clinical practice and research? *Br. J. Sports Med*. 2016; 50(19): 1187–1191. doi: 10.1136/bjsports-2015-095422.
7. Andarawis-Puri N., Flatow E. L., Soslowsky L. J. Tendon basic science: Development, repair, regeneration, and healing. *J. Orthop. Res*. 2015; 33(6): 780–784. doi: 10.1002/jor.22869.
8. Scott A., Squier K., Alfredson H. et al. ICON 2019: International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus: Clinical terminology. *Br. J. Sports Med*. 2020; 54(5): 260–262. doi: 10.1136/bjsports-2019-100885.
9. Nutarelli S., da Lodi C. M. T., Ferranti B. et al. Epidemiology of Patellar Tendinopathy in Athletes and the General Population: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop. J. Sports Med*. 2023; 11(6). doi: 10.1177/23259671231173659.
10. Nutarelli S., da Lodi C. M. T., Ferranti B. et al. Epidemiology of Patellar Tendinopathy in Athletes and the General Population: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop. J. Sports Med*. 2023; 11(6). doi: 10.1177/23259671231173659.

11. van der Worp H., van Ark M., Roerink S., Pepping G. J., van den Akker-Scheek I., Zwerver J. Risk factors for patellar tendinopathy: a systematic review of the literature. *Br. J. Sports Med.* 2011; 45(5): 446–452. doi: 10.1136/bjsm.2011.084079.
12. Sprague A. L., Smith A. H., Knox P., Pohlig R. T., Silbernagel K. G. Modifiable risk factors for patellar tendinopathy in athletes: a systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* 2018; 52(24): 1575–1585. doi: 10.1136/bjsports-2017-099000.
13. Malliaras P., Cook J. L., Kent P. Reduced ankle dorsiflexion range may increase the risk of patellar tendon injury among volleyball players. *J. Sci. Med. Sport.* 2006; 9(4): 304–309. doi: 10.1016/j.jsams.2006.03.015.
14. Harris M., Schultz A., Drew M. K., Rio E., Adams S., Edwards S. Thirty-seven jump-landing biomechanical variables are associated with asymptomatic patellar tendon abnormality and patellar tendinopathy: A systematic review. *Phys. Ther. Sport.* 2020; 45: 38–55. doi: 10.1016/j.ptsp.2020.03.011.
15. Rosen A. B., Wellsandt E., Nicola M., Tao M. A. Clinical Management of Patellar Tendinopathy. *J. Athl. Train.* 2022; 57(7): 621–631. doi: 10.4085/1062-6050-0049.21.
16. Malliaras P., Cook J., Purdam C., Rio E. Patellar Tendinopathy: Clinical Diagnosis, Load Management, and Advice for Challenging Case Presentations. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2015; 45(11): 887–898. doi: 10.2519/jospt.2015.5987.
17. Coombes B. K., Mendis M. D., Hides J. A. Evaluation of patellar tendinopathy using the single leg decline squat test: Is pain location important? *Phys. Ther. Sport.* 2020; 46: 254–259. doi: 10.1016/j.ptsp.2020.10.002.
18. Wheatley M. G. A., Rainbow M. J., Clouthier A. L. Patellofemoral Mechanics: a Review of Pathomechanics and Research Approaches. *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* 2020; 13(3): 326–337. doi: 10.1007/s12178-020-09626-y.
19. Defrate L. E., Nha K. W., Papannagari R., Moses J. M., Gill T. J., Li G. The biomechanical function of the patellar tendon during in-vivo weight-bearing



- flexion. J. Biomech. 2007; 40(8): 1716–1722. doi: 10.1016/j.jbiomech.2006.08.009.
20. Mesfar W., Shirazi-Adl A. Biomechanics of the knee joint in flexion under various quadriceps forces. Knee. 2005; 12(6): 424–434. doi: 10.1016/j.knee.2005.03.004.
21. Baumann C. A., Hinckel B. B., Tanaka M. J. Update on Patellofemoral Anatomy and Biomechanics. Oper. Tech. Sports Med. 2019; 27(4). doi: 10.1016/j.otsm.2019.150683.
22. Akbarshahi M., Fernandez J. W., Schache A. G., Pandy M. G. Subject-specific evaluation of patellofemoral joint biomechanics during functional activity. Med. Eng. Phys. 2014; 36(9): 1122–1133. doi: 10.1016/j.medengphy.2014.06.009.
23. Sanchis-Alfonso V., Alastruey-López D., Ginovart G., Montesinos-Berry E., García-Castro F., Ramírez-Fuentes C., Monllau J. C., Alberich-Bayarri A., Pérez M. A. Parametric finite element model of medial patellofemoral ligament reconstruction model development and clinical validation. J. Exp. Orthop. 2019; 6(1): 32. doi: 10.1186/s40634-019-0200-x.
24. Герасименко С. І., Герасименко А. С., Юрик О. Є., Бабко А. М., Полулях Д. М., Громадський В. В., Поліщук О. В. Біомеханічні передумови тендинопатії власної зв'язки надколінка після артроскопії колінного суглоба. Травма. 2026; 27(2): 159–169. doi: 10.22141/1608-1706.2.27.2026.1080.
25. Thelen D. G. et al. Current Concepts in Patellar Tendinopathy: An Overview of Imaging, Pathogenesis, and Nonoperative and Operative Management. JBJS Rev. 2023; 11(8). doi: 10.2106/jbjs.rvw.23.00076.
26. Theodorou A., Komnos G., Hantes M. Patellar tendinopathy: an overview of prevalence, risk factors, screening, diagnosis, treatment and prevention. Arch. Orthop. Trauma Surg. 2023; 143(11): 6695–6705. doi: 10.1007/s00402-023-04998-5.

- 27.Llombart R., Mariscal G., Barrios C., Llombart-Ais R. The Best Current Research on Patellar Tendinopathy: A Review of Published Meta-Analyses. *Sports (Basel)*. 2024; 12(2): 46. doi: 10.3390/sports12020046.
- 28.Hjortshøj M. H., Agergaard A., Larsen F. K., Thomsen L. J. P., Svensson R. B., Couppé C., Magnusson S. P. Determination of differences in ultrasound parameters for patellar tendons in males with unilateral patellar tendinopathy — an ancillary analysis of data from two randomized controlled trials. *J. Clin. Ultrasound*. 2024; 52(5): 548–557. doi: 10.1002/jcu.23655.
- 29.Abat F., Martínez A., Aznar I., Moraes J., Sosa G., Capurro B. Patellar tendinopathy: diagnosis by ultrasound and magnetic resonance imaging. Conservative and surgical management alternatives. *Rev. Española de Artroscopia y Cirugía Articular*. 2022; 29. doi: 10.24129/j.reacae.29175.fs2002009.
- 30.Docking S. I., Ooi C. C., Connell D. Tendinopathy: Is Imaging Telling Us the Entire Story? *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 2015; 45(11): 842–852. doi: 10.2519/jospt.2015.5880.
- 31.Sharif F., Ahmad A., Shabbir A. Does the ultrasound imaging predict lower limb tendinopathy in athletes: a systematic review. *BMC Med. Imaging*. 2023; 23(1): 217. doi: 10.1186/s12880-023-01181-5.
- 32.Sánchez Romero E. A., Pollet J., Martín Pérez S., Alonso Pérez J. L., Muñoz Fernández A. C., Pedersini P., Barragán Carballar C., Villafañe J. H. Lower Limb Tendinopathy Tissue Changes Assessed through Ultrasound: A Narrative Review. *Medicina (Kaunas)*. 2020; 56(8): 378. doi: 10.3390/medicina56080378.
- 33.Doyle E. Appraisal of Clinical Practice Guideline: Patellofemoral Pain: Clinical Practice Guidelines Linked to the International Classification of Functioning, Disability and Health From the Academy of Orthopaedic Physical Therapy. *J. Physiother.* 2020; 66(2): 134. doi: 10.1016/j.jphys.2020.02.008.
- 34.Rio E., Kidgell D., Purdam C., Gaida J., Moseley G. L., Pearce A. J., Cook J. Isometric exercise induces analgesia and reduces inhibition in patellar

- tendinopathy. *Br. J. Sports Med.* 2015; 49(19): 1277–1283. doi: 10.1136/bjsports-2014-094386.
35. Breda S. J., Oei E. H. G., Zwerver J., Visser E., Waarsing E., Krestin G. P., de Vos R. J. Effectiveness of progressive tendon-loading exercise therapy in patients with patellar tendinopathy: a randomised clinical trial. *Br. J. Sports Med.* 2021; 55(9): 501–509. doi: 10.1136/bjsports-2020-103403.
36. Challoumas D., Pedret C., Biddle M., Ng N. Y. B., Kirwan P., Cooper B., Nicholas P., Wilson S., Clifford C., Millar N. L. Management of patellar tendinopathy: a systematic review and network meta-analysis of randomised studies. *BMJ Open Sport Exerc. Med.* 2021; 7(4): e001110. doi: 10.1136/bmjsem-2021-001110.
37. Vander Doelen T., Jelley W. Non-surgical treatment of patellar tendinopathy: a systematic review of randomized controlled trials. *J. Sci. Med. Sport.* 2020; 23(2): 118–124. doi: 10.1016/j.jsams.2019.09.008.
38. Al-Ajlouni J., Awidi A., Samara O., Al-Najar M., Tarwanah E., Saleh M., Awidi M., Hassan F. A., Samih M., Bener A., Dweik M. Safety and Efficacy of Autologous Intra-articular Platelet Lysates in Early and Intermediate Knee Osteoarthritis in Humans: A Prospective Open-Label Study. *Clin. J. Sport Med.* 2015; 25(6): 524–528. doi: 10.1097/jsm.0000000000000166.
39. Charles R., Fang L., Zhu R., Wang J. The effectiveness of shockwave therapy on patellar tendinopathy, Achilles tendinopathy, and plantar fasciitis: a systematic review and meta-analysis. *Front. Immunol.* 2023; 14: 1193835. doi: 10.3389/fimmu.2023.1193835.
40. Герасименко С. І., Герасименко А. С., Юрик О. Є., Бабко А. М., Полулях Д. М., Громадський В. В. Тендинопатія наколінка після проведення артроскопічної резекції меніска за синдрому «переднього болю» колінного суглоба. *Ортопедія, травматологія та ендопротезування.* 2025; (3): 75–83. doi: 10.15674/0030-59872025375-83.
41. Riener R., Lünenburger L., Maier I., Colombo G., Dietz V. Locomotor Training in Subjects with SensoriMotor Deficits: An Overview of the Robotic Gait

- Orthosis Lokomat. *J. Healthcare Eng.* 2010; 1: 197–216. doi: 10.1260/2040-2295.1.2.197.
42. Riener R., Lunenburger L., Jezernik S. et al. Patient-cooperative strategies for robot-aided treadmill training: first experimental results. *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 2005; 13(3): 380–394. doi: 10.1109/TNSRE.2005.848628.
43. Duschau-Wicke A., Caprez A., Riener R. Patient-cooperative control increases active participation of individuals with SCI during robot-aided gait training. *J. Neuroeng. Rehabil.* 2010; 7: 43. doi: 10.1186/1743-0003-7-43.
44. Герасименко С. І., Герасименко А. С., Юрик О. Є., Бабко А. М., Полулях М. В., Громадський В. В. Реабілітація пацієнтів із синдромом переднього болю колінного суглоба після артроскопії за допомогою роботичних ортезів: клінічна ефективність приладу Lokomat Pro. *Біль, суглоби, хребет.* 2025; 15(3): 141–148. doi: 10.22141/pjs.15.3.2025.473.
45. Pennycott A., Wyss D., Vallery H., Klamroth-Marganska V., Riener R. Towards more effective robotic gait training for stroke rehabilitation: a review. *J. Neuroeng. Rehabil.* 2012; 9: 65. doi: 10.1186/1743-0003-9-65.
46. Hussain S., Xie S. Q., Liu G. Robot assisted treadmill training: mechanisms and training strategies. *Med. Eng. Phys.* 2011; 33(5): 527–533. doi: 10.1016/j.medengphy.2010.12.010.
47. Kayani B., Konan S., Ayuob A., Onochie E., Al-Jabri T., Haddad F. S. Robotic technology in total knee arthroplasty: a systematic review. *EFORT Open Rev.* 2019; 4(10): 611–617. doi: 10.1302/2058-5241.4.190022.
48. Li J., Wu T., Xu Z., Gu X. A pilot study of post-total knee replacement gait rehabilitation using lower limbs robot-assisted training system. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2014; 24(2): 203–208. doi: 10.1007/s00590-012-1159-9.
49. Aprile I., Iacovelli C., Padua L., Galafate D., Criscuolo S., Gabbani D., Cruciani A., Germanotta M., Di Sipio E., De Pisi F., Franceschini M. Efficacy of Robotic-Assisted Gait Training in chronic stroke patients: Preliminary results of an Italian bi-centre study. *NeuroRehabilitation.* 2017; 41(4): 775–782. doi: 10.3233/NRE-172156.

50. Korczyński B., Frasuńska J., Poświata A., Siemianowicz A., Mikulski M., Tarnacka B. Surface electromyography vs clinical outcome measures after robot-assisted gait training in patients with spinal cord injury after post-acute phase of rehabilitation. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2024; 31(4): 599–608. doi: 10.26444/aaem/189609.
51. Hu M. M., Wang S., Wu C. Q., Li K. P., Geng Z. H., Xu G. H., Dong L. Efficacy of robot-assisted gait training on lower extremity function in subacute stroke patients: a systematic review and meta-analysis. *J. NeuroEng. Rehabil.* 2024. doi: 10.1186/s12984-024-01463-1.
52. Brave M., Beaudart C., Noordhout B. M., Gillot V., Kaux J.-F. Effect of robot-assisted gait training on quality of life and depression in neurological impairment: A systematic review and meta-analysis. *Clin. Rehabil.* 2023; 37(7): 876–890. doi: 10.1177/02692155231152567.
53. Yıldız A., Mustafaoğlu R., Kesiktaş N. The Effect of Assistive Robotic Technologies on Quality of Life and Functional Independence in Individuals with Spinal Cord Injury. *J. Basic Clin. Health Sci.* 2024. doi: 10.30621/jbachs.1407163.
54. Nedergård H., Sandlund M., Häger C. K., Palmcrantz S. Users' experiences of intensive robotic-assisted gait training post-stroke — "a push forward or feeling pushed around?" *Disabil. Rehabil.* 2023; 45(23): 3861–3868. doi: 10.1080/09638288.2022.2140848.
55. Герасименко С. І., Герасименко А. С., Юрик О. Є., Майко О. В., Громадський В. В., Грищенко А. В. Аналіз якості реабілітації пацієнтів із тендинопатією власної зв'язки наколінка за допомогою роботичного ортезу. *Ортопедія, травматологія та протезування.* 2026; 76–84. doi: 10.15674/0030-59872026176-84.
56. Pujol N., Giordano A. O., Wong S. E., Beaufils P., Monllau J. C., Arhos E. K., Becker R., Della Villa F., Goodloe J. B., 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., Paterno M. V., Piontek T., Perelli S., Rambaud A.,

- Robinson J., Schmitt L. C., Senorski E. H., Snaebjornsson T., Tagliero A. J., Ma C. B., Prill R. The formal EU-US Meniscus Rehabilitation 2024 Consensus: An ESSKA-AOSSM-AASPT initiative. Part I — Rehabilitation management after meniscus surgery. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2025; 33(8): 3002–3013. doi: 10.1002/ksa.12674.
57. Hays R. D., Sherbourne C. D., Mazel R. M. The RAND 36-Item Health Survey 1.0. *Health Econ.* 1993; 2(3): 217–227. doi: 10.1002/hec.4730020305.
58. Delgado D. A., Lambert B. S., Boutris N., McCulloch P. C., Robbins A. B., Moreno M. R., Harris J. D. Validation of Digital Visual Analog Scale Pain Scoring With a Traditional Paper-based Visual Analog Scale in Adults. *J. Am. Acad. Orthop. Surg. Glob. Res. Rev.* 2018; 2(3): e088. doi: 10.5435/JAAOSGlobal-D-17-00088.
59. da Silva-Júnior F. B., Dibai-Filho A. V., Barros D. C. C., Dos Reis-Júnior J. R., Gonçalves M. B. S., Soares A. R., Cabido C. E. T., Pontes-Silva A., Fidelis-de-Paula-Gomes C. A., Pires F. O. Anterior Knee Pain Scale (AKPS): structural and criterion validity in Brazilian population with patellofemoral pain. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2024; 25(1): 39. doi: 10.1186/s12891-024-07164-z.
60. Lysholm J., Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am. J. Sports Med.* 1982; 10(3): 150–154. doi: 10.1177/036354658201000306.
61. Kocher M. S., Steadman J. R., Briggs K. K., Sterett W. I., Hawkins R. J. Reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm knee scale for various chondral disorders of the knee. *J. Bone Joint Surg. Am.* 2004; 86(6): 1139–1145. doi: 10.2106/00004623-200406000-00004.
62. Briggs K. K., Lysholm J., Tegner Y., Rodkey W. G., Kocher M. S., Steadman J. R. The reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm score and Tegner activity scale for anterior cruciate ligament injuries of the knee: 25 years later. *Am. J. Sports Med.* 2009; 37(5): 890–897. doi: 10.1177/0363546508330143.

- 63.Sharif F., Ahmad A., Shabbir A. Does the ultrasound imaging predict lower limb tendinopathy in athletes: a systematic review. *BMC Med. Imaging.* 2023; 23(1): 217. doi: 10.1186/s12880-023-01181-5.
- 64.Abat F., Martínez A., Aznar I., Moraes J., Sosa G., Capurro B. Patellar tendinopathy: diagnosis by ultrasound and magnetic resonance imaging. Conservative and surgical management alternatives. *Rev. Española de Artroscopia y Cirugía Articular.* 2022; 29. doi: 10.24129/j.reacae.29175.fs2002009.
- 65.Kim M. W., Lee D. H., Seo Y. C. An Observational Study on the Prediction of Range of Motion in Soldiers Diagnosed with Patellar Tendinopathy Using Ultrasound Shear Wave Elastography. *Bioengineering (Basel).* 2024; 11(12): 1263. doi: 10.3390/bioengineering11121263.
- 66.Parks C. Congruency of Ultrasound Measure Changes Against Patient-Reported Outcome Measures in Patellar Tendinopathy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cureus.* 2024; 16(11): e74200. doi: 10.7759/cureus.74200.
- 67.Cherni Y., Girardin-Vignola G., Ballaz L., Begon M. Reliability of maximum isometric hip and knee torque measurements in children with cerebral palsy using a paediatric exoskeleton — Lokomat. *Neurophysiol. Clin.* 2019; 49(4): 335–342. doi: 10.1016/j.neucli.2018.12.001.
- 68.Chaparro-Rico B. D. M., Cafolla D., Tortola P., Galardi G. Assessing Stiffness, Joint Torque and ROM for Paretic and Non-Paretic Lower Limbs during the Subacute Phase of Stroke Using Lokomat Tools. *Appl. Sci.* 2020; 10: 6168. doi: 10.3390/app10186168.
- 69.Riener R., Lünenburger L., Maier I., Colombo G., Dietz V. Locomotor Training in Subjects with SensoriMotor Deficits: An Overview of the Robotic Gait Orthosis Lokomat. *J. Healthcare Eng.* 2010; 1: 197–216. doi: 10.1260/2040-2295.1.2.197.
- 70.Moeller T., Moehler F., Krell-Roesch J., Dežman M., Marquardt C., Asfour T., Stein T., Woll A. Use of Lower Limb Exoskeletons as an Assessment Tool for

- Human Motor Performance: A Systematic Review. *Sensors* (Basel). 2023; 23(6): 3032. doi: 10.3390/s23063032.
71. Wheatley M. G. A., Rainbow M. J., Clouthier A. L. Patellofemoral Mechanics: a Review of Pathomechanics and Research Approaches. *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* 2020; 13(3): 326–337. doi: 10.1007/s12178-020-09626-y.
  72. Wang X., Liu H., Dong Z., Chen X., Xu C., Ji G., Kang H., Wang F. Contact area and pressure changes of patellofemoral joint during stair ascent and stair descent. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2023; 24(1). doi: 10.1186/s12891-023-06882-0.
  73. Rood A., Hannink G., Lenting A., Groenen K. H. J., Koëter S., Verdonchot N., van Kampen A. Patellofemoral Pressure Changes After Static and Dynamic Medial Patellofemoral Ligament Reconstructions. *Am. J. Sports Med.* 2015; 43(10): 2538–2544. doi: 10.1177/0363546515594447.
  74. Pal S., Besier T. F., Gold G. E., Fredericson M., Delp S. L., Beaupré G. S. Patellofemoral cartilage stresses are most sensitive to variations in vastus medialis muscle forces. *Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin.* 2019; 22(2): 206–213. doi: 10.1080/10255842.2018.1544629.
  75. Stephen J. M., Alva A., Lumpaopong P., Williams A., Amis A. A. A cadaveric model to evaluate the effect of unloading the medial quadriceps on patellar tracking and patellofemoral joint pressure and stability. *J. Exp. Orthop.* 2018; 5(1). doi: 10.1186/s40634-018-0150-8.
  76. Owusu-Akyaw K., Heckelman L. N., Cutcliffe H. C., Sutter E. G., Englander Z. A., Spritzer C. E., Garrett W. E., DeFrate L. E. A comparison of patellofemoral cartilage morphology and deformation in anterior cruciate ligament deficient versus uninjured knees. *J. Biomech.* 2017; 67: 78–85. doi: 10.1016/j.jbiomech.2017.11.019.
  77. Lin F., Wilson N. A., Makhsous M., Press J. M., Koh J. L., Nuber G. W., Zhang L. In vivo patellar tracking induced by individual quadriceps components in individuals with patellofemoral pain. *J. Biomech.* 2010; 43(2): 235–241. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.08.043.



- 78.Zaslav K. R., Della Villa S., Lustig S. et al. Treatment of post-meniscectomy knee symptoms with medial meniscus replacement results in greater pain reduction and functional improvement than non-surgical care. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2022; 30(7): 2294–2305. doi: 10.1007/s00167-021-06573-0.
- 79.Zaslav K. R., Farr J., Alfred R., Alley R. M., Dyle M., Gomoll A. H., Lattermann C., McKeon B. P., Kaeding C. C., Giel T., Hershman E. B. Treatment of post-meniscectomy knee symptoms with medial meniscus replacement results in greater pain reduction and functional improvement than non-surgical care. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2022; 30(4): 1325–1335. doi: 10.1007/s00167-021-06573-0.
- 80.Amestoy J., Pujol N., Colombet P. et al. Patellofemoral Pain After Arthroscopy: Muscle Atrophy Is Not Everything. *Arthrosc. Sports Med. Rehabil.* 2021; 3(4): 1079–1085. doi: 10.1016/j.asmr.2021.03.016.
- 81.Maquirriain J., Ghisi J. P., Megey P. J. Patellar Tendinopathy after Arthroscopic Meniscectomy: A Case Report. *J. Knee Surg.* 2013; 26(1): 30–34. doi: 10.1055/s-0033-1341581.