ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет медицини і фармації

Кафедра фізичної реабілітації, спортивної медицини та валеології

Чеботарьов Артур Вячеславович

# ФІЗИЧНА РЕАБІЛІТАЦІЯ ПАЦІЄНТІВ З ЕНДОПРОТЕЗУВАННЯМ КОЛІННОГО СУГЛОБА В ПІСЛЯГОСТРОМУ ПЕРІОДІ

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра

за спеціальністю 227 «Терапія та реабілітація» спеціалізація 227.01 Фізична терапія

Науковий керівник:

Василенко Євген Олександрович

(підпис)_____

Роботу рекомендовано до захисту

на засіданні кафедри фізичної реабілітації,

спортивної медицини та валеології

Протокол № __від «___»____2026 р.

Завідувач кафедри_____

Роботу захищено на засіданні ЕК

з оцінкою_____/_____/_____

(за 200-бальною шкалою / шкалою ЄКТС)

Протокол № від «__»____2026 р.

Голова ЕК_____

Дніпро – 2026

**ЗМІСТ**

**АНОТАЦІЯ.....4**

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....6**

**ВСТУП.....6**

**РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ ПІСЛЯ ЕНДОПРОТЕЗУВАННЯ КОЛІННОГО СУГЛОБУ.....10**

**1.1. Анатомо-фізіологічні особливості колінного суглоба.....10**

**1.2. Показання, техніка та етапи ендопротезування колінного суглоба.....16**

**1.3. Патофізіологія відновлення в післягострому періоді після ТКА.....25**

**1.4. М'язовий тонус, контрактури та порушення ROM після операції.....32**

**1.5. Постізометрична релаксація: нейрофізіологічні механізми та сфери застосування.....37**

**1.6. Огляд сучасних методів фізичної терапії після ТКА.....43**

**РОЗДІЛ 2. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....50**

**2.1. Методологія та організація дослідження.....50**

**2.1.1. Аналіз наукової літератури та інформаційних джерел.....53**

**2.1.2. Вивчення медичної документації пацієнтів після ТКА.....55**

**2.1.3. Методи оцінки функціонального стану колінного суглоба.....56**

**2.1.4. Методи анкетування.....59**

**2.1.5. Інтерпретація результатів функціональних тестів.....61**

**2.1.6. Методи статистичної обробки даних.....64**

**2.2. Дизайн дослідження.....66**

**РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....69**

**3.1. Розробка програми фізичної терапії з використанням технік постізометричної релаксації…….....69**

**3.2. Початкові результати обстеження пацієнтів після ТКА.....71**

**3.3. Зміни після застосування програми ПІР.....75**

**3.4. Ефективність та обговорення результатів дослідження.....78**

**ВИСНОВКИ.....87**

**ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....90**

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....93**

**ДОДАТКИ.....98**

# АНОТАЦІЯ

Фізична реабілітація пацієнтів після тотального ендопротезування колінного суглоба в післягострому періоді. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.
Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 227 Терапія та реабілітація, спеціалізація 227.01 Фізична терапія. – Дніпровський державний медичний університет, Дніпро, 2026.
Науковий керівник: Василенко Євген Олександрович

У кваліфікаційній роботі представлено науково обґрунтований підхід до фізичної реабілітації пацієнтів після тотального ендопротезування колінного суглоба в післягострому періоді. Основна увага зосереджена на вдосконаленні реабілітаційної програми шляхом включення постізометричної релаксації як додаткового методу впливу на функціональний стан оперованої кінцівки.

Дослідження виконано з використанням комплексного підходу, що поєднує засоби фізичної терапії та принципи функціональної рухової адаптації. Така структура реабілітації спрямована не лише на відновлення рухових функцій, але й на повернення пацієнтів до самостійного виконання повсякденних активностей. Методологія включала оцінку функціонального стану, тестування рухової активності та аналіз змін основних клінічних показників.

В емпіричній частині взяли участь 10 пацієнтів, які були розподілені на основну та контрольну групи. В основній групі застосовувалась постізометрична релаксація у поєднанні зі стандартною програмою фізичної терапії, тоді як у контрольній групі використовувався традиційний реабілітаційний комплекс без зазначеної методики. Порівняльний аналіз дозволив оцінити ефективність запропонованого підходу.

Після впровадження програми у пацієнтів основної групи відзначено більш виражене покращення функціональних показників, зокрема збільшення амплітуди

рухів у колінному суглобі, зниження больового синдрому та підвищення рівня рухової активності. Також зафіксовано позитивну динаміку у виконанні повсякденних завдань, що відображає ефективність поєднання мануальних технік та функціонально-адаптивного підходу у фізичній терапії.

Отримані результати підтверджують доцільність включення постізометричної релаксації до програм післягострої реабілітації після тотального ендопротезування колінного суглоба та можуть бути використані для удосконалення клінічної практики відновного лікування.

Ключові слова: фізична терапія, рухова адаптація, ендопротезування колінного суглоба, післягострий період, реабілітація, постізометрична релаксація, функціональне відновлення.

# ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВАШ – Візуальна аналогова шкала (болю)

ГАМК – Гамма-аміномасляна кислота

КГ – Контрольна група

ММТ – Мануальне м’язове тестування

ОГ – Основна група

ПІР – Постізометрична релаксація

ТКА – Тотальна артропластика (ендопротезування) колінного суглоба (від англ. *Total Knee Arthroplasty*)

УХТ – Ударно-хвильова терапія

ФРМ – Фізична та реабілітаційна медицина

10-MWT – Тест 10-метрової ходьби (від англ. *10-Meter Walk Test*)

ADL – Активності повсякденного життя (від англ. *Activities of Daily Living*)

AMI – Артрогенне м’язове гальмування (від англ. *Arthrogenic Muscle Inhibition*)

CPM – Безперервний пасивний рух / апаратна пасивна розробка (від англ. *Continuous Passive Motion*)

HIL – Високоінтенсивна лазеротерапія (від англ. *High-Intensity Laser*) KOOS JR – Короткий опитувальник результатів травми та остеоартрозу колінного суглоба при ендопротезуванні (від англ. *Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score for Joint Replacement*)

MET – Техніки м’язової енергії (від англ. *Muscle Energy Techniques*) NMES – Нейром’язова електростимуляція (від англ. *Neuromuscular Electrical Stimulation*)

ROM – Амплітуда рухів (від англ. *Range of Motion*)

TGF-β – Трансформуючий фактор росту бета (від англ. *Transforming Growth Factor Beta*)

# ВСТУП

**Актуальність теми** зумовлена високою поширеністю тотального ендопротезування колінного суглоба як одного з провідних методів хірургічного лікування тяжких дегенеративно-дистрофічних уражень опорно-рухового апарату. Попри значні досягнення ортопедичної хірургії та високу ефективність самої операції, післяопераційний період залишається складним етапом відновлення, що характеризується тривалим збереженням функціональних порушень. Серед найбільш типових проблем відзначаються м’язова слабкість, зниження сили чотириголового м’яза стегна, обмеження амплітуди рухів у колінному суглобі, больовий синдром та порушення нормального стереотипу ходи. Наукові дані підтверджують, що навіть через кілька місяців після операції може зберігатися знижена активація м’язів стегна та уповільнене відновлення нейром’язового контролю, що безпосередньо впливає на темпи функціонального повернення пацієнта до повсякденної активності [1].

Сучасні підходи до післяопераційної реабілітації здебільшого базуються на поєднанні терапевтичних вправ, поступового збільшення фізичного навантаження, відновлення обсягу рухів та тренування ходи. Зазначені методи є ефективними для нормалізації базових біомеханічних параметрів, однак не завжди достатньою мірою впливають на складні нейром’язові порушення, зокрема підвищений м’язовий тонус, захисні рухові патерни та компенсаторні стратегії руху. З огляду на це виникає потреба у розширенні стандартних реабілітаційних програм за рахунок включення методів, спрямованих на нормалізацію м’язового тонусу та покращення якості рухового контролю.

Постізометрична релаксація належить до м’яких мануальних технік, що базуються на нейрофізіологічних механізмах регуляції м’язового скорочення. Після короткочасного ізометричного напруження активується пропріоцептивний апарат сухожиль та м’язів, що призводить до рефлекторного зниження їхньої збудливості

та подальшого розслаблення. Це створює умови для зменшення м’язового спазму, покращення еластичності м’яких тканин і поступового збільшення амплітуди рухів у суглобі. Ефективність подібних нейром’язових методик підтверджується сучасними клінічними даними щодо зменшення болю, покращення рухливості та функціонального стану пацієнтів із різними порушеннями опорно-рухового апарату [2, 3]. Опубліковані фахові матеріали також демонструють позитивний вплив м’язово-енергетичних технік і споріднених мануальних підходів на зниження м’язової скутості та відновлення функціональної рухливості суглобів у пацієнтів ортопедичного профілю [4, 5].

Особливої уваги потребує питання комплексності реабілітаційного процесу, оскільки відновлення пацієнтів після тотального ендопротезування не може обмежуватися лише покращенням рухливості суглоба або збільшенням м’язової сили. У сучасній клінічній практиці поступово формується підхід, за якого реабілітація розглядається як багаторівнева система відновлення функцій, що включає як фізичний, так і функціонально-побутовий компоненти. У цьому контексті відновлення біомеханіки суглоба та адаптація пацієнта до умов повсякденного життя виступають взаємодоповнювальними напрямами.

Фізична терапія переважно зосереджується на відновленні базових рухових можливостей: збільшенні амплітуди рухів у колінному суглобі, відновленні сили м’язів нижньої кінцівки, нормалізації ходи та зменшенні больового синдрому. Функціонально-відновний вектор реабілітації спрямований на відновлення здатності пацієнта до самостійного виконання щоденних активностей та підвищення рівня функціональної незалежності. У зв'язку з цим надзвичайно актуальним є удосконалення реабілітаційних програм шляхом інтеграції базової фізичної терапії та засобів соціально-побутової адаптації, що дозволяє поєднати відновлення рухових функцій із їхнім практичним застосуванням у повсякденному житті пацієнта.

Обмеженість даних щодо застосування постізометричної релаксації у

післягострому періоді після ендопротезування колінного суглоба формує беззаперечну потребу у подальшому вивченні цього напряму.

**Об’єкт курсової роботи:** программа фізичної реабілітації пацієнтів у післягострому періоді після тотального ендопротезування колінного суглоба.

**Предмет курсової роботи:** вплив постізометричної релаксації як елемента програми фізичної терапії, а також ефективність комплексних реабілітаційних заходів, що включають підходи фізичної терапії, у відновленні функціонального стану пацієнтів після тотального ендопротезування колінного суглоба.

**Мета курсової роботи:** довести ефективність включення постізометричної релаксації до програми фізичної терапії та визначити вплив комплексної програми фізичної терапії з елементами функціональної адаптації на відновлення функціонального стану пацієнтів після тотального ендопротезування колінного суглоба в післягострому періоді.

**Завдання курсової роботи:**

1. Проаналізувати анатомо-фізіологічні особливості колінного суглоба та їхнє значення для процесу відновлення після ендопротезування.
2. Охарактеризувати причини, показання та етапність проведення тотального ендопротезування колінного суглоба.
3. Узагальнити сучасні підходи до фізичної терапії пацієнтів після ендопротезування колінного суглоба на основі актуальних джерел.
4. Описати організацію дослідження, характеристику вибірки та методи оцінки функціонального стану пацієнтів у післягострому періоді.
5. Довести ефективність запропонованої програми шляхом порівняння показників до та після її застосування і сформулювати узагальнені висновки щодо її доцільності.

**Структура роботи:** робота складається зі вступу, трьох розділів, восьми підрозділів, висновків, додатків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи – 113 сторінок.

# РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ ПІСЛЯ ЕНДОПРОТЕЗУВАННЯ КОЛІННОГО СУГЛОБУ

## 1.1. Анатомо-фізіологічні особливості колінного суглоба

Найбільшим та структурно найскладнішим зчленуванням в опорно-руховому апараті людини вважається колінний суглоб. Його головна місія полягає у підтримці стабільності тіла та забезпеченні локомоторної функції. Це виросткове з'єднання, що формується за рахунок взаємодії надколінника, а також великогомілкової та стегнової кісток, здатне виконувати згинання, розгинання, певне відведення та ротацію. З огляду на постійні екстремальні навантаження, ця анатомічна зона є вкрай вразливою до дегенеративних змін та механічних пошкоджень. Зменшення тертя та амортизацію гарантує гіаліновий хрящ, яким покриті суглобові площини. Анатомічна архітектоніка також включає синовіальну капсулу, потужний зв'язковий апарат та меніски. Медіальний і латеральний меніски діють як внутрішньосуглобові хрящові амортизатори півмісяцевої форми, стабілізуючи систему та рівномірно розподіляючи вагу під час руху [6].

Надійність просторової фіксації коліна підтримується складною системою зв'язок. Передньо-задні зсуви контролюються хрестоподібними зв'язками, тоді як латеральна та медіальна колатеральні зв'язки протидіють зміщенням у фронтальній площині. Міцна суглобова капсула, що огортає зчленування, має внутрішній синовіальний шар, який секретує специфічну рідину. Вона відіграє ключову роль у живленні хрящової тканини та змащуванні поверхонь.

Рис. 1.1. Анатомія колінного суглоба

Біомеханічні характеристики є основою функціональності цього відділу. Руховий акт вимагає ідеальної синхронізації м'язів, кісток, менісків та зв'язок. Під час бігу чи ходьби тиск на коліно багаторазово перевищує загальну масу тіла. Динамічна та статична рівновага забезпечується м'язами гомілки та стегна (литковими, задньою групою та чотириголовим м'язом), що відповідають як за здійснення рухів, так і за утримання фізіологічно правильної позиції [6].

Попри високу адаптивність до навантажень, суглоб має значну схильність до травматизації. До найпоширеніших патологій належать розриви зв'язок, переломи, пошкодження менісків та остеоартрит. Останній процес супроводжується деградацією хрящового покриву, що неминуче веде до больового синдрому та обмеження мобільності [6]. Стан тканин, що оточують зчленування, критично впливає на його здоров'я. Кровопостачання забезпечується сіткою колінних артерій, а іннервація — гілками малогомілкового, великогомілкового та стегнового нервів.

Порушення мікроциркуляції чи нервової провідності провокує дегенеративні зміни, що обов'язково враховується під час планування програм реабілітації після оперативних втручань.

Унікальною характеристикою коліна є залежність його стабільності від інтегрованої роботи нервово-м'язового апарату. Пропріоцепція (відчуття положення просторової орієнтації) реалізується через рецептори капсули, м'язів та зв'язок. Збій цієї функції провокує нестабільність та підвищує ризик повторних травм. З огляду на це, діагностика вимагає застосування високоточних методів (КТ, МРТ) для виявлення мікроструктурних змін [7]. У ситуаціях, коли консервативна терапія виявляється неефективною, перевага надається хірургічним втручанням, зокрема тотальній артропластиці. Ендопротезування дозволяє замінити зруйновані ділянки штучними компонентами, нівелювати біль та повернути втрачену функцію [8]. Відновлення після імплантації штучного суглоба є критичним етапом для повернення до повноцінного життя. Пріоритетом реабілітації є не лише покращення амплітуди рухів, але й профілактика контрактур, тромбозів, порушень постави та хронічного болю. Процес відновлення структуровано на п'ять послідовних етапів, що передбачають дозоване розширення рухового режиму. Успішність результату напряму залежить від використання сучасних інструментів функціонального відновлення та фізичної терапії [9].

Початкова фаза стартує відразу після операції і триває до трьох діб. Головний акцент робиться на підтримці фізіологічних функцій та запобіганні ускладненням. Активне осьове навантаження заборонено, проте ініціюються дихальна гімнастика, ізометричні напруження сідниць та квадрицепса, а також рухи пальцями ніг. Для профілактики венозного застою застосовують компресійний трикотаж, локальну кріотерапію для знеболення, регулярну зміну положень та позиціонування з піднятими кінцівками. Усі маніпуляції суворо контролюються профільними лікарями.

Друга фаза (4–10 доба) характеризується вертикалізацією пацієнта.

Розпочинається ходьба з опорою на ходунки чи милиці з дозованим перенесенням ваги на оперовану ногу. Комплекс поповнюється безболісними рухами на згинання та розгинання коліна, вправами для плечового пояса та тазу. Ключова мета полягає в активізації чотириголового м'яза та розширенні амплітуди рухів [10]. Для запобігання тугорухливості ефективним є використання апаратів безперервної пасивної розробки (CPM-терапія). Також проводиться інструктаж щодо безпечного використання допоміжних засобів для уникнення перевантаження хребта.

Третій період (від 2 до 6 тижнів) присвячений вдосконаленню патерну ходьби та розвитку координації. Навантаження на кінцівку плавно збільшується. Активно тренуються м'язи гомілки, стегна та сідниць. До програми інтегруються нестабільні платформи, еластичні стрічки, акватерапія та тренажери. Фокус утримується на симетрії кроку та правильному розподілі маси тіла. Додатково залучаються фізіотерапевтичні методи (магнітотерапія, лазер, електростимуляція, ультразвук) для усунення больового синдрому та покращення сенсомоторної координації.

Четвертий етап (від 6 тижнів до 3 місяців) означає перехід до повного осьового навантаження. Головним завданням є відновлення силової витривалості та загальної мобільності за допомогою орбітреків, степ-платформ та велотренажерів. Програми індивідуалізуються відповідно до вікових показників та супутніх станів. Важливим компонентом стає психоемоційний супровід, оскільки пацієнти нерідко відчувають страх руху або тривожність. Залучення психолога усуває ці бар'єри та стимулює мотивацію до подальшого відновлення.

П'ята фаза (від 3 до 6 місяців) орієнтована на фінальну соціальну та професійну реінтеграцію. Формується здатність до тривалого стояння, водіння автомобіля або виконання фізичної праці. Тренування набувають високої інтенсивності з акцентом на спритність, реакцію та координацію. Оцінка функціонального стану здійснюється за допомогою стандартизованих шкал (WOMAC, KOOS), показників м'язової сили та гоніометрії [11].

Особливого значення набуває навчання пацієнта принципам самостійного

виконання вправ у домашніх умовах. Лише систематичні тренування дозволяють уникнути формування контрактур та зберегти функцію суглоба. Практикується регулярний нагляд фізичного терапевта для коригування навантажень. Паралельно застосовуються засоби адаптації до активностей повсякденного життя (ADL) для навчання пацієнта безпечним технікам у побуті, модифікації житлового простору та впровадження навичок енергозбереження [12. Найвища ефективність забезпечується злагодженою роботою мультидисциплінарної реабілітаційної команди: хірурга, лікаря ФРМ, фізичного терапевта, психолога та соціального працівника

Клінічні дані підтверджують, що ранній початок відновлювальних інтервенцій є запорукою успіху [13]. Аналіз наукових джерел засвідчує, що активне залучення пацієнтів до фізичної терапії знижує потребу у знеболювальних та прискорює повернення до самостійного способу життя. Системне дотримання рухового режиму не лише повертає мобільність, а й подовжує термін служби ендопротеза, що є критично важливим для осіб працездатного віку. Застосування мультидисциплінарного підходу суттєво підвищує загальну якість життя [14].

Окремої уваги потребують пацієнти з поліморбідністю. Супутні хронічні захворювання (ожиріння, цукровий діабет, артеріальна гіпертензія) суттєво впливають на темпи регенерації. Порушення мікроциркуляції та метаболізму підвищують ризик інфекцій та нестабільності імплантату. У таких випадках обов'язковим є залучення профільних спеціалістів (кардіологів, ендокринологів) для забезпечення медикаментозного контролю паралельно з фізичною терапією.

Психологічні аспекти також безпосередньо впливають на динаміку одужання. Формування нового образу тіла та подолання страху можливої інвалідизації вимагає кваліфікованої підтримки. Особи старшого віку нерідко мають знижену прихильність до занять через депресивні настрої або когнітивні розлади. Впровадження групової терапії та тренінгів підтримки дозволяє сформувати реалістичні очікування та активну життєву позицію [13].

Заходи соціально-побутової адаптації гарантують безпечну інтеграцію в соціум. До них належить адаптація середовища (встановлення поручнів, застосування підвищених сидінь) та підбір засобів пересування (ролатори, тростини) [15]. Соціальні працівники додатково допомагають організувати доступ до ресурсів громади та денних реабілітаційних центрів.

Для працездатного населення пріоритетом стає професійна реінтеграція. Здійснюється аналіз умов праці для можливої адаптації робочого місця або перенавчання. Роботодавцю надаються рекомендації щодо обмеження навантажень (уникнення тривалого сидіння, підйому вантажів). Дозоване, але раннє повернення до трудової діяльності значно покращує психологічний стан пацієнтів [16].

Нутритивна підтримка відіграє надзвичайно вагому роль у комплексному лікуванні. Раціон, збагачений білком, мікроелементами (кальцій, магній) та вітаміном D, стимулює регенерацію тканин. За наявності надмірної ваги застосовуються дієтологічні стратегії для зниження маси тіла, що суттєво зменшує механічний тиск на ендопротез. Відбувається постійний моніторинг ліпідного та глікемічного профілів.

Сучасний етап розвитку сфери охорони здоров'я відзначається впровадженням телереабілітації. Спеціалізовані додатки та відеозв'язок забезпечують дистанційний контроль за виконанням програми, що є надзвичайно зручним для маломобільних осіб. Крім того, перспективним є використання віртуальної реальності для відновлення балансу, біологічного зворотного зв'язку та біоінженерних технологій (наприклад, екзоскелетів) для нейростимуляції центрів ходьби.

Об'єктивізація результатів вимагає використання валідованих інструментів: шкал якості життя, анкет самооцінки болю, показників витривалості та гоніометрії. Зібрані дані дозволяють оперативно коригувати програму та виявляти бар'єри на шляху до повного одужання.

Залучення членів родини до реабілітаційного процесу позитивно

позначається на загальному комплаєнсі. Навчання близьких правилам догляду, безпечного переміщення та адаптації побутового простору створює сприятливе домашнє середовище [17]. Психологічна робота з родичами також сприяє зниженню загального рівня тривожності [10]. Питання профілактики післяопераційних ускладнень (контрактур, інфекцій, тромбозів, асептичного розхитування та алергічних реакцій) залишається фундаментальним [10]. Ранній скринінг та комплексний моніторинг дозволяють мінімізувати ці ризики. Для пацієнтів похилого віку додатково рекомендується вакцинація (від пневмокока та грипу) для попередження системних інфекцій, що здатні загрожувати стабільності імплантату [18].

## 1.2. Показання, техніка та етапи ендопротезування колінного суглоба

У сучасній світовій та вітчизняній ортопедичній практиці тотальне ендопротезування колінного суглоба визнано одним із найбільш високоефективних та клінічно виправданих методів лікування термінальних стадій дегенеративно-дистрофічних і запальних уражень опорно-рухового апарату. Огляд сучасного стану справ із заміною суглобів в Україні підтверджує: щорічно фіксується стійке та динамічне збільшення обсягів таких хірургічних втручань [9]. Це зумовлено комплексом факторів: загальним постарінням населення, підвищенням поширеності метаболічних розладів, зокрема ожиріння, що збільшує осьове навантаження на нижні кінцівки, а також безперервним удосконаленням технічних характеристик самих імплантатів та медичного інструментарію. Головна концептуальна мета заміни суглоба полягає не лише у механічному відновленні конгруентності кісткових структур, а й у кардинальному усуненні хронічного больового синдрому, корекції хибної осі кінцівки та поверненні пацієнту здатності до безболісного, самостійного пересування. Операція розглядається як

фундаментальний етап реконструкції, який дозволяє перервати патологічне коло хронічного запалення та гіподинамії, що неминуче призводить до інвалідизації особи.

Формування показань до проведення радикального хірургічного втручання базується на глибокому, багатофакторному клініко-інструментальному аналізі соматичного та ортопедичного статусу пацієнта. Фундаментальним і найбільш поширеним показанням до первинного ендопротезування є наявність ідіопатичного або посттравматичного гонартрозу III–IV клініко-рентгенологічної стадії, що характеризується критичним, часто тотальним руйнуванням гіалінового хрящового покриву, вираженим субхондральним остеосклерозом, формуванням масивних крайових остеофітів та значним звуженням або повним зникненням суглобової щілини, коли кісткові поверхні безпосередньо труться одна об одну [19, 20].

Рішення про неможливість подальшого зволікання з операцією ухвалюється тоді, коли консервативна терапія остаточно вичерпує свій потенціал. До консервативних заходів, які зазвичай передують операції, належать системне застосування нестероїдних протизапальних препаратів, внутрішньосуглобові ін’єкції гіалуронової кислоти або кортикостероїдів, а також курси фізіотерапії. Якщо ці методи більше не забезпечують стійкої ремісії, а пацієнт страждає від постійного болю у спокої та критичного обмеження дистанції безболісної ходьби, оперативне втручання стає безальтернативним виходом [12].

Окрім класичних дегенеративних змін, окремим та надзвичайно вагомим показанням до повної заміни суглоба є наявність системних аутоімунних захворювань сполучної тканини. Першочерговим серед них є ревматоїдний артрит, який супроводжується агресивним проліферативним синовітом, що надзвичайно швидко, симетрично та незворотно руйнує суглобові структури, призводячи до грубих деформацій та анкілозів. У подібних клінічних ситуаціях ендопротезування виконує роль не лише ортопедичного, а й загальнотерапевтичного фактора, оскільки видалення ураженої синовіальної оболонки дозволяє знизити активність

системного запального процесу, локально купірувати біль та запобігти остаточній інвалідизації [21, 22].

Ще одну, технічно найскладнішу категорію хворих становлять пацієнти з первинними або вторинними онкологічними ураженнями кісток навколосуглобової зони. Для збереження кінцівки і уникнення ампутації у таких випадках після масштабних сегментарних резекцій ураженої кісткової тканини встановлюються спеціальні модульні онкологічні мегапротези. Цей тип втручання супроводжується високим ризиком ускладнень та масивним дефіцитом м'яких тканин, що потребує специфічних хірургічних доступів і залучення реконструктивно-пластичних методик для закриття дефекту [23, 24, 25].

Разом із показаннями, в ортопедичній практиці існує чітко регламентований перелік абсолютних та відносних протипоказань до проведення артропластики. Внаслідок цього, ретельна бальна оцінка стану пацієнта перед втручанням є обов’язковим кроком, що мінімізує ризик фатальних ускладнень [15]. До абсолютних протипоказань належать наявність активного інфекційного процесу будь-якої локалізації, некомпенсовані захворювання серцево-судинної та дихальної систем, які роблять неможливим безпечне проведення анестезії. Суворим абсолютним протипоказанням є відсутність функціонуючого розгинального апарату коліна або нейроартропатія, оскільки за відсутності м'язового контролю встановлення штучного суглоба призведе до його миттєвої нестабільності та вивиху.

Відносні протипоказання потребують тривалої передопераційної підготовки за участю мультидисциплінарної команди [26]. До них відносять морбідне ожиріння, некомпенсований цукровий діабет, хронічну венозну недостатність та виражений остеопороз. Оптимізація цих станів критично необхідна для запобігання перипротезній інфекції та асептичному розхитуванню імплантату.

Успіх операції формується ще до її початку завдяки скрупульозному передопераційному плануванню, що є втіленням концепції персоніфікованої медицини [27]. Сучасні протоколи вимагають виконання телерентгенографії обох

нижніх кінцівок з осьовим навантаженням. За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення здійснюється цифрове шаблонування: віртуально накладаються контури майбутнього ендопротеза на рентгенограму, визначається точний розмір компонентів, кути майбутніх кісткових резекцій та необхідний ступінь корекції осі кінцівки. При складних деформаціях додатково застосовується магнітно-резонансна або комп'ютерна томографія для створення тривимірної моделі суглоба і навіть виготовлення індивідуальних навігаційних блоків.

Вибір конкретного типу ендопротеза безпосередньо корелює з характером ураження, віком пацієнта та станом його кістково-зв'язкового апарату. У клінічних ситуаціях, коли патологічний дегенеративний процес локалізований суворо в одному відділі, найчастіше це медіальний компартмент, що руйнується внаслідок варусної деформації, а інші відділи та хрестоподібні зв'язки залишаються інтактними, перевага може надаватися одновиростковому ендопротезуванню. Ця малоінвазивна методика зберігає власні структури пацієнта, забезпечує значно вищий рівень пропріоцепції та дозволяє швидко повернутися до звичного ритму життя [28].

Проте домінуючою процедурою залишається тотальне ендопротезування, при якому заміщуються всі суглобові поверхні. Сучасні тотальні ендопротези поділяються за ступенем механічного зв'язку між стегновим та великогомілковим компонентами. Незв'язані протези застосовуються за умови повного збереження власного колатерального зв'язкового апарату. Протези із задньою стабілізацією використовуються найчастіше, оскільки вони компенсують функцію задньої хрестоподібної зв'язки, яка зазвичай видаляється під час операції. Повністю зв'язані, шарнірні протези є імплантатами порятунку і застосовуються у складних ревізійних випадках або при фатальній недостатності колатеральних зв'язок.

**Таблиця 1.2 – Послідовність етапів ТКА**

| Етап втручання | Характеристика та зміст заходів |
|---|---|
| **1. Передопераційний скринінг** | Виконання розгорнутого клініко-лабораторного та інструментального обстеження (променева діагностика, томографія). Здійснюється моніторинг серцево-судинного статусу та обов'язкова медикаментозна компенсація коморбідних станів (наприклад, порушень вуглеводного обміну чи артеріальної гіпертензії). |
| **2. Хірургічне моделювання** | Підбір оптимальної конфігурації та способу фіксації імплантату (цементна, безцементна або гібридна). Застосовується цифрове шаблонування та 3D-реконструкція кісткових структур для точного розрахунку кутів резекції та просторового позиціонування. |
| **3. Анестезіологічне забезпечення** | Застосування регіонарних (епідуральних чи спінальних) або загальних методів знеболення з безперервним апаратним моніторингом вітальних функцій організму протягом усього часу операції. |
| **4. Артротомія та резекція** | Формування хірургічного доступу (переважно передньо-медіального парапателярного). Проводиться радикальний дебридмент, видалення дегенерованих тканин та прецизійна обробка суглобових поверхонь спеціальними навігаційними інструментами. |
| **5. Імплантація штучного суглоба** | Позиціонування тестових компонентів з подальшою перевіркою кінематики, амплітуди рухів та балансу зв'язок. Після підтвердження стабільності здійснюється остаточна |

| Етап втручання | Характеристика та зміст заходів |
|---|---|
| | фіксація оригінальних елементів конструкції обраним методом. |
| **6. Гемостаз та дренування** | Санація порожнини антисептичними розчинами, встановлення активних дренажних систем для запобігання утворенню гематом. Завершується етап ретельним пошаровим ушиванням тканин з відновленням цілісності розгинального апарату. |
| **7. Ранній госпітальний етап** | Медикаментозна профілактика тромбоемболічних та інфекційних ускладнень (призначення антикоагулянтів та антибіотиків). Здійснюється адекватна анальгезія, моніторинг стану рани, видалення дренажів та первинна вертикалізація пацієнта. |
| **8. Фізична терапія та відновлення** | Системне застосування засобів реабілітації для усунення м'язового дисбалансу, покращення мобільності суглоба та формування правильного стереотипу ходьби під фаховим наглядом. Тривалість цього етапу зазвичай становить 3–6 місяців і залежить від індивідуальної динаміки регенерації. |

Матеріалознавство відіграє фундаментальну роль у довговічності протеза. Стегновий компонент традиційно виготовляється з високоміцного кобальт-хромового сплаву, який забезпечує ідеально гладку ковзну поверхню. Великогомілкова платформа формується з титанових сплавів, що мають високу біосумісність. Прокладка між ними виконується з високомолекулярного зшитого поліетилену, який бере на себе функцію хрящового амортизатора.

Забезпечення первинної та вторинної стабільності компонентів є запорукою

успішного функціонування конструкції. Найбільш розповсюдженим і перевіреним часом залишається цементний тип фіксації. У якості кісткового цементу використовується поліметилметакрилат, який заповнює мікроскопічні пори кістки, твердне протягом кількох хвилин і забезпечує негайну стабільність імплантату. Це дозволяє здійснювати повне осьове навантаження на кінцівку вже в перші години після операції.

Безцементна фіксація базується на принципах біологічної остеоінтеграції: поверхня протеза покривається спеціальним пористим титановим напиленням або гідроксиапатитом, що стимулює вростання кісткових трабекул безпосередньо у метал. Цей метод вимагає бездоганної якості власної кісткової тканини і переважно застосовується у молодших пацієнтів. Існує також гібридне протезування, де стегновий компонент фіксується безцементно, а великогомілковий — за допомогою цементу. У випадках критичного, масивного дефіциту кісткової маси, що часто спостерігається при ревізійних втручаннях, активно впроваджуються методики алокомпозитного ендопротезування, які передбачають використання донорських кісткових трансплантатів для заміщення дефектів та створення надійної опори для імплантату [29].

Безпосередньо хірургічне втручання є філігранним біомеханічним процесом, де точність кожного міліметра впливає на результат. Процедура традиційно виконується під реґіонарною анестезією. На відміну від загального наркозу, реґіонарне знеболення суттєво знижує ризик розвитку тромбоемболії легеневої артерії, крововтрати та забезпечує якісну аналгезію у ранньому післяопераційному періоді. Для створення безкровного операційного поля та мінімізації інтраопераційної крововтрати широко застосовується пневматичний турнікет, який накладається на проксимальну третину стегна. Водночас, сучасні наукові дані вказують на те, що виконання артропластики без використання турнікета також є ефективною та безпечною тактикою. Такий підхід може суттєво зменшити ішемічне пошкодження скелетної мускулатури, знизити інтенсивність раннього

післяопераційного болю та прискорити відновлення функції розгинання [30].

Після обробки операційного поля виконується доступ. Золотим стандартом вважається передньо-медіальна парапателярна артротомія, яка забезпечує максимально широку візуалізацію усіх структур коліна. Для пацієнтів із добре розвиненою мускулатурою можуть застосовуватися м'язовозберігаючі доступи, які передбачають збереження цілісності сухожилля квадрицепса, що значно полегшує подальшу реабілітацію. Після розтину суглобової капсули надколінник зміщується латерально. Далі проводиться радикальний дебридмент: видаляються залишки менісків, передня хрестоподібна зв'язка, гіпертрофована синовіальна оболонка та усі крайові остеофіти, які здатні заважати руху або створювати натяг м'яких тканин.

Найвідповідальнішим етапом операції є обробка суглобових поверхонь за допомогою прецизійних навігаційних інструментів. Здійснюються спили дистального відділу стегнової кістки та проксимального відділу великогомілкової кістки відповідно до передопераційного плану. Великогомілковий спил виконується строго перпендикулярно до механічної осі гомілки з невеликим нахилом назад, що відтворює природну анатомію. Спили стегнової кістки формуються у кількох площинах, створюючи посадкове місце, яке ідеально відповідає внутрішньому контуру стегнового компонента ендопротеза.

Одразу після кісткових резекцій розпочинається етап, який вимагає найвищої клінічної майстерності — балансування м'якотканинного апарату. Встановлення ідеального протеза на незбалансовані зв'язки гарантовано призведе до його швидкого зношування або нестабільності [24]. Метою є створення симетричного згинального та розгинального проміжків. Якщо спостерігалася виражена варусна деформація, медіальні структури будуть скороченими та стягнутими, тоді як латеральні — розтягнутими. Здійснюється поступовий реліз ущільнених тканин на увігнутій стороні деформації доти, доки натяг зв'язок не стане ідеально симетричним як у положенні повного розгинання коліна, так і при згинанні на дев'яносто градусів.

Після досягнення бездоганного балансу в суглоб встановлюються тестові компоненти. Проводиться низка динамічних тестів: оцінюється амплітуда згинання та розгинання, перевіряється колатеральна стабільність, а також аналізується траєкторія ковзання надколінника. Якщо надколінник має тенденцію до латерального підвивиху, виконується реліз латеральної ретинакули. Тільки після підтвердження ідеальної кінематики тестові блоки видаляються. Кісткове ложе ретельно промивається під тиском для видалення жиру та кісткової тирси, висушується і покривається поліметилметакрилатним цементом. Оригінальні металеві компоненти імплантуються і притискаються до повного застигання фіксатора. Між ними встановлюється поліетиленовий вкладиш обраної товщини.

Фінальний етап передбачає ретельний гемостаз, встановлення дренажної системи для евакуації залишкової крові, що є профілактикою утворення напружених гематом, та пошарове ушивання рани. Особлива увага приділяється герметичному зашиванню капсули та відновленню цілісності розгинального апарату. Завершується операція накладанням стерильної пов'язки та еластичним бинтуванням кінцівки для запобігання венозному застою.

У підсумку, проаналізовані матеріали дозволяють констатувати, що хірургічний етап тотального ендопротезування є високонауковим і складним процесом, який блискуче вирішує проблему відновлення опорної функції та знищення джерела болю в самому суглобі. Механічна вісь кінцівки вирівнюється, а ковзання штучних поверхонь стає ідеальним. Однак надзвичайно важливо розуміти, що ендопротез є лише пасивним шарніром. Сама по собі операція не здатна жодним чином відновити силу, витривалість та еластичність оточуючих м'язів, які роками перебували у стані глибокої атрофії та дисбалансу [31].

Більше того, хірургічна травма тканин, постопераційний набряк та зміна пропріоцептивної аферентації провокують додаткове артрогенне м'язове гальмування. Це дозволяє переконливо обґрунтувати той факт, що виписка зі стаціонару з ідеальним рентгенівським знімком є лише початком боротьби за

повноцінну функцію. Внаслідок цього формується безальтернативна необхідність у негайному та системному впровадженні комплексної програми фізичної терапії у післягострому періоді. Саме спрямований вплив терапевтичних вправ, інтеграція мануальних технік, зокрема постізометричної релаксації, та засобів функціональної рухової адаптації дають змогу пацієнту навчитися керувати новим суглобомі повернутися до соціально активного життя [32].

### 1.3. Патофізіологія відновлення в післягострому періоді після ТКА

Післягострий період після тотальної артропластики колінного суглоба, який хронологічно охоплює часовий проміжок від чотирнадцятої доби до повних трьох місяців після оперативного втручання, визначено у сучасній ортопедії та фізичній реабілітації як найбільш критичний та детермінуючий етап для формування кінцевого функціонального результату. Успішна хірургічна імплантація штучного суглоба бездоганно вирішує механічну проблему відновлення осі кінцівки та конгруентності ковзних поверхонь, проте ця масивна інвазія неминуче запускає каскад надзвичайно складних біологічних, біомеханічних та неврологічних реакцій. Тканини оперованої кінцівки переходять від гострої фази ексудативного запалення до тривалих стадій клітинної проліферації, структурного ремоделювання та рубцювання. Розуміння цих процесів на субклітинному, тканинному та системному рівнях є фундаментальною передумовою для правильної побудови програми реабілітаційного впливу [11].

Процес регенерації м'якотканинних структур, до яких належать розсічена суглобова капсула, зв'язковий апарат, глибокі фасції та шкірні покриви, у післягострому періоді характеризується надзвичайно інтенсивною проліферативною активністю фібробластів. Під впливом трансформуючого

фактора росту бета (TGF-β) та інших прозапальних цитокінів ці клітини розпочинають масований синтез колагену третього типу, який відзначається відносною крихкістю та низькою механічною міцністю. Згодом, під впливом складних біохімічних сигналів та дії матриксних металопротеїназ, цей первинний позаклітинний матрикс поступово заміщується більш зрілим та міцним колагеном першого типу. Важливою патофізіологічною особливістю цього етапу є те, що новоутворені колагенові волокна спочатку розташовуються абсолютно хаотично, формуючи невпорядковану тривимірну сітку. За відсутності спрямованого механічного впливу та дозованого руху ці волокна утворюють грубі перехресні зшивки, що у клінічній практиці проявляється як агресивний спайковий процес (адгезія). Зморщування суглобової капсули через надмірне фіброзне рубцювання є головною причиною розвитку стійких контрактур та тугорухливості, що виражається у формі стійкого обмеження амплітуди згинання гомілки і розглядається як одне з найважчих післяопераційних ускладнень [24]. З огляду на зазначене, забезпечення раннього, але суворо дозованого руху є не просто бажаним реабілітаційним завданням, а біологічно необхідним фактором. Саме через механотрансдукцію (перетворення механічного сигналу в біохімічну відповідь клітини) забезпечується правильна просторова орієнтація колагенових структур уздовж ліній природного механічного натягу.

Паралельно з м'якотканинним ремоделюванням відбувається безперервний процес адаптації кісткової тканини до інстальованого масивного імплантату. Залежно від обраного хірургом типу фіксації (цементної або безцементної біологічної), на межі «кістка-протез» розгортається інтенсивна взаємодія остеобластів та остеокластів. Впровадження чужорідного, механічно жорсткого металевого стрижня кардинально змінює природний розподіл навантаження на стегнову та великогомілкову кістки. Цей феномен у біомеханіці отримав назву «екранування напружень» (stress-shielding). Відповідно до закону Вольфа, архітектоніка кісткової тканини безперервно перебудовується у відповідь на

механічне навантаження, яке на неї безпосередньо діє. Зниження фізіологічного осьового тиску через гіподинамію, тривале використання допоміжних засобів опори або підсвідомий страх пацієнта наступати на оперовану ногу у післягострому періоді провокує локальну остеокластичну резорбцію (розсмоктування) кістки навколо імплантату. Втрата кісткової маси створює прямі передумови для мікрорухомості та подальшого асептичного розхитування компонентів ендопротеза [12]. Внаслідок цього раннє відновлення повноцінної опорної функції визнано критичним чинником якісної остеоінтеграції.

Однак найскладніші патофізіологічні зміни, які безпосередньо диктують темпи та успішність відновлення функціональності кінцівки, стосуються нервово-м'язового апарату. Клінічною особливістю післягострого періоду є специфічна дуальність рухових порушень передньої групи м'язів стегна, де поєднуються феномен артрогенного м'язового гальмування (Arthrogenic Muscle Inhibition, AMI) та рефлекторний захисний гіпертонус розгинального апарату. З одного боку, пацієнти демонструють мимовільну слабкість чотириголового м'яза стегна (квадрицепса) під час спроб вольового напруження, що має складну багаторівневу рефлекторну природу [10]. Хірургічна травма тканин під час артротомії, радикальна резекція кісткових виростків, наявність навіть мінімального залишкового випоту (внутрішньосуглобового набряку) та пролонговане локальне запалення спричиняють потужне подразнення сенсорних рецепторів зміненої капсули. Аферентні сигнали від цих активованих механорецепторів та ноцицепторів безперервним потоком надходять до задніх рогів спинного мозку. Там, через складну систему гальмівних інтернейронів (зокрема Ib-інгібуючих інтернейронів), вони критично пригнічують збудливість альфа-мотонейронів, які відповідають за довільну іннервацію квадрицепса [31]. У підсумку центральна нервова система рефлекторно «вимикає» повноцінний вольовий контроль над розгинальним апаратом коніна, намагаючись захистити травмований суглоб від перевантаження.

Ця нейрофізіологічна блокада призводить до того, що пацієнт виявляється

фізично не здатним повноцінно скоротити чотириголовий м'яз для генерації максимального розгинального зусилля. Опубліковані клінічні дані підтверджують, що після артропластики параметри довільного ізометричного скорочення знижуються на 60–80% у перші тижні [4]. Проте, з іншого боку, під час спроб пасивного або активного згинання колінного суглоба розгортається зворотний патологічний процес: ЦНС реагує на натяг пошкодженого розгинального механізму вираженим мимовільним захисним тонічним спазмом. Якщо прояви цієї дискореляції не подолати на ранніх етапах післягострого періоду, запускається стрімка структурна деградація м'язових волокон квадрицепса (насамперед швидких волокон типу II), що супроводжується жировою інфільтрацією (ліпоматозом) медіального широкого м'яза стегна [33]. Це критично погіршує динамічну стабільність суглоба та провокує формування асиметричного, кульгаючого патерну ходьби, при якому пацієнт уникає повноцінного перенесення ваги на оперовану кінцівку.

Окрім моторного дефіциту, надзвичайно важливим аспектом патофізіології післягострого періоду є тяжке порушення пропріоцептивної (суглобово-м'язової) чутливості. Під час радикального видалення уражених суглобових поверхонь, гіпертрофованої синовіальної оболонки та, у переважній більшості оперативних втручань, передньої хрестоподібної зв'язки, пацієнт втрачає колосальний масив нативних механорецепторів (зокрема тілець Руффіні, Пачіні та специфічних вільних нервових закінчень). У здоровому організмі саме ці високоспеціалізовані структури відповідали за безперервне інформування головного мозку про поточний кут згинання суглоба, швидкість і напрямок просторового руху. Усунення цього критичного інформаційного дефіциту вимагає масштабної нейропластичної перебудови всієї центральної нервової системи. Моторна кора змушена адаптуватися та навчатися обробляти компенсаторні сигнали від рецепторів шкіри, позасуглобових сухожиль та м'язових веретен, які залишилися неушкодженими навколо встановленого ендопротеза. Ця патофізіологічна обставина беззаперечно

обґрунтовує абсолютну необхідність раннього включення спеціалізованих вправ на баланс, координацію та сенсомоторний контроль.

На тлі описаних нейрогенних зсувів у післягострому періоді провідним біомеханічним бар'єром реабілітації стає закономірний захисний гіпертонус м'язів-розгиначів, а саме чотириголового м'яза стегна. Тривале вимушене положення кінцівки у доопераційному періоді, спричинене деструктивним хронічним болем, а також гострий післяопераційний ноцицептивний стрес надійно закріплюють цю патологічну м'язову домінанту. Спазмовані м'язи-розгиначі створюють постійний, жорсткий опір при будь-яких спробах пацієнта або терапевта здійснити згинання гомілки, механічно підтримуючи та поглиблюючи розгинальну контрактуру колінного суглоба. Застосування класичних методів пасивного розтягування (форсованого стретчингу) квадрицепса у такій клінічній ситуації визнано вкрай травматичним та неефективним. Примусове розтягнення спазмованого, болючого розгинального волокна миттєво активує міотатичний рефлекс (рефлекс на розтягнення). Внаслідок цього інтрафузальні рецептори надсилають сигнал до спинного мозку, який реагує імпульсом зворотного захисного скорочення, що лише посилює м'язовий спазм для захисту від гіпотетичного розриву міофібрил, поглиблюючи блок згинання та посилюючи ноцицептивну відповідь.

Аналіз зазначених нейрофізіологічних механізмів відкриває шлях до глибокого розуміння ефективності застосування м'яких мануальних технік, відомих як техніки м'язової енергії (Muscle Energy Techniques) [5]. Зокрема, використання постізометричної релаксації (ПІР), цілеспрямовано спрямованої на чотириголовий м'яз стегна, спирається на філігранне використання рефлекторної діяльності сегментарного апарату спинного мозку. Метод ПІР експлуатує фундаментальний біологічний феномен **аутогенного гальмування**: після короткочасного, мінімального ізометричного напруження спазмованих м'язів-розгиначів (коли пацієнт намагається розігнути ногу в коліні проти адекватного опору терапевта на рівні 10–25% від максимального довільного зусилля) відбувається потужна

активація сухожильних апаратів Гольджі [34]. Ці високочутливі рецептори напруги надсилають інгібувальний імпульс через товсті аферентні волокна типу Ib до спинного мозку, де активуються гальмівні інтернейрони. Як наслідок, для альфа-мотонейронів квадрицепса настає фаза абсолютної рефрактерності та глибокого рефлекторного розслаблення. Саме під час цього фізіологічного вікна, яке триває кілька секунд і характеризується повною електроміографічною "тишею" м'яза, фахівець отримує можливість безболісно виконати пасивне згинання гомілки, подовжуючи структури розгиначів до нового бар'єра. Застосування ПІР дозволяє розірвати патологічне коло «біль – захисний спазм розгиначів – ішемія – біль», безпечно долає розгинальну контрактуру та відновлює амплітуду згинання без жодного ризику мікротравмування свіжих післяопераційних тканин [1]. Систематизовані клінічні спостереження переконливо підтверджують, що впровадження методик ПІР у пацієнтів із суглобовим болем та дегенеративними змінами значно прискорює ліквідацію контрактур та оптимізує мобільність суглоба [2, 3].

Окрім біомеханічних та неврологічних факторів, складна патофізіологічна картина післягострого періоду неминуче доповнюється судинним та мікроциркуляторним компонентами. Післяопераційний набряк оперованої кінцівки має переважно лімфостатичний та венозний характер. Хірургічне пошкодження дрібних лімфатичних колекторів під час доступу суттєво уповільнює дренаж інтерстиціальної рідини. Хронічний некупірований набряк виконує подвійну деструктивну функцію: він не лише механічно обмежує амплітуду згинання, створюючи ефект підвищеного гідростатичного тиску («тугої подушки») всередині синовіальної порожнини, а й підтримує стан стійкої локальної гіпоксії тканин. Накопичення продуктів анаеробного метаболізму та прозапальних медіаторів (брадикініну, гістаміну, субстанції Р) безперервно подразнює ноцицептори. Це трансформує гострий соматичний післяопераційний біль у хронічний нейропатичний больовий синдром, який здатний виснажувати нервову систему

пацієнта місяцями. Усунення цієї проблеми категорично вимагає застосування засобів адекватної компресійної терапії, правильного постурального позиціонування кінцівки (елевації) та безупинної стимуляції активних м'язових скорочень (роботи «м'язової помпи») для прискорення венозного відтоку та лімфодренажу.

Опрацьовані емпіричні та теоретичні дані беззаперечно доводять, що післягострий період після тотального ендопротезування є унікальним біологічним «вікном можливостей», під час якого тканини людського організму мають найвищий потенціал до позитивної структурної та нейропластичної перебудови. Ігнорування описаних патофізіологічних закономірностей або недостатня інтенсивність реабілітаційного впливу у цей час гарантовано призводять до незворотних фіброзних змін суглобової капсули, хронізації захисного спазму м'язів-розгиначів та безповоротної втрати ефективного пропріоцептивного контролю. Відповідно, формується гостра клінічна потреба у застосуванні чітких, патофізіологічно обґрунтованих алгоритмів фізичної терапії. Інтеграція сучасних консервативних методик, орієнтованих на нормалізацію тонусу м'язів-розгиначів (зокрема технік постізометричної релаксації), відновлення нейром'язового зв'язку та покращення регіонарної мікроциркуляції, забезпечує переривання патологічних реакцій. Саме такий ґрунтовний медичний підхід створює ідеальні умови для повної, безпечної та ефективної інтеграції штучного колінного суглоба в глобальну локомоторну систему організму, гарантуючи пацієнту повернення до безболісного згинання кінцівки та соціально активної життєдіяльності.

### 1.4. М’язовий тонус, контрактури та порушення амплітуди рухів (ROM) після операції

Відновлення повноцінної амплітуди рухів (Range of Motion, ROM) у колінному суглобі розглядається у сучасній ортопедичній та клінічній практиці як фундаментальний критерій успішності тотальної артропластики та першочергова мета реабілітаційного втручання. Опрацьовані фахові джерела однозначно вказують на те, що навіть за умови ідеального хірургічного позиціонування металевих компонентів ендопротеза, функціональний результат може бути катастрофічно знижений через вторинні патологічні зміни з боку навколосуглобових м'яких тканин [31]. Обмеження мобільності після операції є складним, багатофакторним процесом, в основі якого лежить глибока патофізіологічна взаємодія між рефлекторно зміненим м'язовим тонусом, формуванням рубцевих адгезій та прогресуванням структурних контрактур. З огляду на зазначене, глибоке розуміння біомеханічних та нейрофізіологічних першопричин порушення ROM є абсолютно необхідним для побудови раціонального терапевтичного алгоритму.

Зміна м'язового тонусу виступає першою та найпотужнішою реакцією організму на масивну операційну травму. Тонус скелетної мускулатури у фізіологічній нормі підтримується на базовому рівні завдяки безперервній імпульсації від гамма-мотонейронів спинного мозку, що забезпечує постійну готовність м'язового волокна до повноцінного скорочення. Однак після розтину тканинних масивів, агресивної резекції кісток та встановлення масивного чужорідного імплантату відбувається колосальне подразнення ноцицепторів (больових рецепторів). Потужний потік больової аферентації надходить до центральної нервової системи, яка миттєво реагує запуском еволюційно закріпленого захисного рефлексу. Цей безумовний механізм змушує організм рефлекторно змінювати тонус м'язів, намагаючись жорстко іммобілізувати пошкоджену ділянку та запобігти її подальшій травматизації [10].

У випадку ендопротезування колінного суглоба найбільш критичною проблемою стає формування вираженого патологічного м'язового дисбалансу з

боку екстензорного апарату (розгиначів). Головний м'яз передньої поверхні стегна — чотириголовий м'яз (квадрицепс) — потрапляє у стан складного нейромоторного конфлікту. З одного боку, під час спроб пацієнта свідомо напружити м'яз для опори спостерігається його слабкість через артрогенне гальмування. З іншого боку, у відповідь на будь-яку спробу пасивного або активного згинання суглоба, квадрицепс реагує потужним неконтрольованим тонічним гіпертонусом (спазмом) [33]. Цей захисний спазм передньої групи м'язів створює жорсткий біомеханічний блок, що унеможливлює повноцінне згинання гомілки.

Тривалий м'язовий спазм розгиначів неминуче запускає каскад вторинних біохімічних та мікроциркуляторних порушень. Гіпертонічний м'яз перебуває у стані постійного скорочення, що призводить до фізичного здавлювання внутрішньом'язових капілярів. Зниження регіонарної мікроциркуляції провокує локальну ішемію та тканинну гіпоксію. В умовах гострого дефіциту кисню клітинний метаболізм вимушено переходить на анаеробний шлях, що супроводжується стрімким накопиченням молочної кислоти та інших недоокислених продуктів обміну. Зсув водневого показника (pH) у кислий бік спричиняє інтенсивне хімічне подразнення вільних нервових закінчень, що генерує нові потоки больових імпульсів. Замикається класичне патологічне коло: «біль – захисний спазм квадрицепса – ішемія – посилення болю». Цей деструктивний цикл невідворотно переростає у глибокі структурні зміни за відсутності вчасного застосування засобів фізичної терапії.

Перехід м'язового гіпертонусу в незворотне обмеження рухів клінічно маніфестує формуванням контрактур. Контрактура (від лат. contractura — стягування) визначається як стійке, структурне обмеження амплітуди рухів у зчленуванні. У післягострому періоді після ендопротезування найчастіше діагностується комбінований тип контрактур: міогенний та артрогенний (десмогенний) [24]. Спочатку розвивається міогенна контрактура розгиначів, яка зумовлена тривалим перебуванням чотириголового м'яза у спазмованому,

вкороченому стані. З плином часу кількість саркомерів (базових скоротливих одиниць) у м'язовому волокні фізично зменшується, і м'яз структурно адаптується до нової, патологічно меншої довжини.

Паралельно розгортаються деструктивні процеси всередині самого оперованого суглоба. Артрогенний компонент контрактури безпосередньо пов'язаний із надмірним розростанням фіброзної (рубцевої) тканини у відповідь на хірургічну інвазію. Суглобова капсула, яка у нормі відзначається високою еластичністю, потовщується, зморщується та безповоротно втрачає свою розтяжність. Між ковзними фасціальними поверхнями утворюються щільні колагенові спайки. Якщо в перші тижні ці адгезії є пухкими і можуть бути ліквідовані дозованим рухом, то до кінця післягострого періоду вони трансформуються на грубі рубцеві тяжі, які діють як механічні блокатори для компонентів ендопротеза.

Головним викликом для фахівців з реабілітації у межах даного дослідження є **розгинальна контрактура** — стан, за якого пацієнт стикається зі значним обмеженням згинання колінного суглоба (дефіцит флексії) внаслідок ригідності розгинального апарату. Клінічний аналіз підтверджує, що дефіцит згинання має руйнівні біомеханічні наслідки для всієї локомоторної системи та критично погіршує якість життя, позбавляючи пацієнта функціональної незалежності [11]. Біомеханічні розрахунки повсякденної активності вказують, що для нормальної ходьби рівною поверхнею коліно повинно вільно згинатися мінімум на 65 градусів у фазі переносу ноги. Для подолання сходинок необхідна амплітуда у 90–100 градусів, а для безпечного вставання з низького сидіння, відвідування туалету або посадки у транспортний засіб вимагається згинання до 105–115 градусів [12].

Обмеження згинання (розгинальна контрактура) змушує пацієнта залучати незграбні компенсаторні патерни під час ходьби (наприклад, надмірне відведення прямої ноги у фронтальній площині — циркумдукцію, або неприродний підйом таза). Це експоненціально збільшує енерговитрати на пересування, провокує

перевантаження контралатерального суглоба, генералізує біль у попереково-крижовому відділі хребта та багаторазово підвищує ризик падінь.

Діагностика порушень ROM та патологічного м'язового тонусу вимагає ретельного і високоспецифічного клінічного підходу. Обсяг рухів об'єктивізується за допомогою гоніометрії, де отримані результати зіставляються з цільовими фізіологічними показниками. При виявленні обмеження згинання надзвичайно важливо точно визначити природу тканинного бар'єра (end-feel). Відчуття «пружинистого» опору наприкінці амплітуди безпомилково свідчить про наявність активного м'язового спазму квадрицепса та фасціального вкорочення. Натомість відчуття «жорсткого», шкірястого бар'єра є ознакою капсулярного зморщування.

Традиційний консервативний підхід до усунення розгинальних контрактур, який історично базувався на пасивному розтягуванні (форсованому згинанні коліна через біль), у сучасній клінічній медицині визнано глибоко помилковим і потенційно небезпечним. Примусове розтягування спазмованого чотириголового м'яза з ігноруванням больового порогу викликає потужний міотатичний рефлекс (рефлекс на розтягнення). Вбудовані у м'яз рецептори (м'язові веретена) генерують екстрений імпульс до спинного мозку, який негайно віддає наказ м'язу скоротитися ще сильніше, щоб запобігти розриву тканин. Внаслідок цього опір тканин стрімко зростає, а мануальна маніпуляція лише провокує мікронадриви м'язових волокон розгинача, посилення запального процесу та ексудацію нового набряку.

Цей патофізіологічний парадокс створює безальтернативну клінічну необхідність у застосуванні інтелектуальних, нейрофізіологічно обґрунтованих методів мануального впливу, які здатні оминути захисні рефлекси нервової системи. До цієї категорії належать техніки м'язової енергії (МЕТ), перлиною яких є методика постізометричної релаксації (ПІР) м'язів [5]. В основі ПІР лежить філігранне використання законів аутогенного гальмування. Під час фази контрольованого, надзвичайно легкого ізометричного скорочення спазмованого квадрицепса (спроба розігнути ногу з опором у межах 10–25% від максимального

зусилля) активуються сухожильні органи Гольджі, що функціонують як рецептори критичної напруги [34]. Вони генерують потужний інгібувальний сигнал, який тимчасово блокує відповідні альфа-мотонейрони. Настає фізіологічний рефрактерний період, під час якого міотатичний рефлекс вимикається, а м'яз глибоко розслаблюється. Саме у це терапевтичне вікно фахівець отримує унікальну змогу безболісно зігнути коліно, розтягнути фасціальні оболонки та збільшити довжину саркомерів розгинача до нового функціонального бар'єра [1]. Клінічна практика беззаперечно доводить високу ефективність ПІР у ліквідації больового синдрому та відновленні мобільності при суглобовій патології [2, 3].

Аналіз наведених механізмів дозволяє зробити однозначний висновок: порушення амплітуди рухів у післягострому періоді після ендопротезування є наслідком складного, взаємопов'язаного переплетіння ноцицептивних рефлексів, захисного спазму розгиначів, регіонарної ішемії тканин та фіброзної проліферації. Запобігання формуванню стійких розгинальних контрактур категорично вимагає відмови від травматичного мануального розтягнення на користь фізіологічних технік. Інтеграція постізометричної релаксації в алгоритм фізичної терапії забезпечує безпечне зниження гіпертонусу чотириголового м'яза, ліквідацію міогенних бар'єрів та створення ідеальних передумов для відновлення повної, безболісної амплітуди згинання суглоба.

## 1.5. Постізометрична релаксація: нейрофізіологічні механізми та сфери застосування

У сучасній доказовій реабілітаційній медицині та фізичній терапії постізометрична релаксація (ПІР) визнається однією з найбільш ефективних, безпечних та глибоко патофізіологічно обґрунтованих технік м'якої мануальної

терапії. Цей метод концептуально та методологічно належить до широкої групи технік м'язової енергії (Muscle Energy Techniques, MET), які базуються на філігранному використанні власного активного, але суворо дозованого м'язового зусилля пацієнта, спрямованого проти точно розрахованого опору фахівця [5]. Головна клінічна мета ПІР полягає у безпечній ліквідації патологічного м'ячого гіпертонусу, купіруванні міофасціального больового синдрому, розриві хибних рефлекторних дуг та відновленні фізіологічної еластичності сполучнотканинних структур (фасцій, зв'язок, суглобових капсул). Враховуючи масивну хірургічну травматизацію тканин після тотального ендопротезування колінного суглоба та закономірний розвиток стійкої розгинальної контрактури (обмеження згинання гомілки), застосування ПІР виступає фундаментальним, безальтернативним інструментом для подолання рефлекторного м'язового захисного блоку.

Функціональна результативність постізометричної релаксації не є емпіричною випадковістю, а спирається на глибинні закони нейрофізіології, біомеханіки нервово-м'язового апарату та нейропластичності центральної нервової системи. Для глибокого розуміння механізмів ПІР необхідно проаналізувати роботу двох фундаментальних пропріоцептивних систем контролю: м'язових веретен та сухожильних органів Гольджі. М'язові веретена (інтрафузальні волокна) розташовані паралельно до основних м'язових волокон і виконують функцію датчиків довжини та швидкості її зміни. Коли спазмований чотириголовий м'яз стегна піддається раптовому пасивному розтягуванню (як це відбувається під час класичного, форсованого згинання коліна через біль), м'язові веретена генерують екстрений аферентний імпульс по швидких нервових волокнах типу Ia безпосередньо до спинного мозку. Це миттєво активує альфа-мотонейрони, які віддають наказ м'язу скоротитися, формуючи захисний міотатичний рефлекс (рефлекс на розтягнення). Саме цей еволюційний захисний механізм робить форсоване пасивне розтягування ригідного розгинального апарату неефективним і травматичним, оскільки опір м'яза-розгинача лише зростає, сильніше блокуючи

згинання кінцівки.

Натомість постізометрична релаксація використовує інший пропріоцептивний апарат — сухожильні органи Гольджі. Ці високоспеціалізовані інкапсульовані механорецептори локалізуються послідовно в зоні м'язово-сухожильного переходу чотириголового м'яза стегна. На відміну від веретен, органи Гольджі абсолютно нечутливі до зміни довжини, але мають надвисоку чутливість до зміни сили механічного натягу (напруги) у сухожиллі. Фундаментальним механізмом, який забезпечує терапевтичний ефект ПІР, є феномен аутогенного гальмування [34]. Під час виконання методики пацієнт здійснює легке ізометричне скорочення спазмованого м'яза-розгинача проти опору фізичного терапевта. Це мінімальне, але цілеспрямоване напруження квадрицепса критично підвищує натяг у його сухожиллі, активуючи органи Гольджі.

Збудження від цих рецепторів передається по товстих, швидкопровідних мієлінізованих аферентних нервових волокнах типу Ib до задніх рогів спинного мозку. У спинномозкових сегментах ці волокна утворюють складні синаптичні зв'язки з гальмівними інтернейронами (Ib-інгібуючими інтернейронами). Своєю чергою, активовані інтернейрони виділяють потужні інгібіторні нейромедіатори (переважно гліцин або гамма-аміномасляну кислоту — ГАМК), які здійснюють пряме пригнічення власних альфа-мотонейронів у передніх рогах спинного мозку [5]. У результаті цього складного, багатосинаптичного рефлекторного ланцюга потік збуджувальних імпульсів до напруженого чотириголового м'яза стегна різко обривається. Настає так звана фаза абсолютної рефрактерності — унікальний фізіологічний період глибокого, мимовільного та неконтрольованого пацієнтом рефлекторного розслаблення міофібрил розгинача. Саме у це вузьке терапевтичне вікно міотатичний рефлекс повністю вимикається, що дозволяє фахівцеві безпечно, безболісно та без найменшого спротиву м'язових тканин здійснити пасивне згинання гомілки, збільшуючи довжину саркомерів квадрицепса до нового фізіологічного бар'єра [1].

Крім аутогенного гальмування, мануальні техніки енергії м'язів експлуатують закон реципрокної іннервації Шеррінгтона. Згідно з цим нейрофізіологічним постулатом, активація мотонейронів м'яза-агоніста обов'язково супроводжується одночасним, рефлекторним гальмуванням мотонейронів м'яза-антагоніста. У клінічній практиці відновлення колінного суглоба, коли пацієнт після фази розслаблення плавно підключає вольове скорочення м'язів задньої групи стегна (флексорів), нервова система автоматично знижує тонус передньої групи (екстензорів — чотириголового м'яза), щоб не перешкоджати згинанню гомілки. Інтеграція принципів аутогенного та реципрокного гальмування робить ПІР найпотужнішим інструментом нейромодуляції периферичної нервової системи.

Окрім виключно неврологічного впливу, ПІР забезпечує глибокі віскоеластичні та біохімічні зміни у структурі позаклітинного матриксу та фасціальних оболонок стегна. Будь-який спазмований м'яз завжди перебуває у стані локальної тканинної ішемії: постійне тонічне скорочення волокон квадрицепса фізично здавлює капілярну сітку. В умовах гіпоксії основна речовина фасції (яка складається з глікозаміногліканів та води) зазнає фізико-хімічних змін, переходячи з рідкого стану золю у в'язкий стан гелю. Тканини стають жорсткими, склеюються між собою, формуючи мікроскопічні спайки, які додатково фіксують розгинальну контрактуру. Почергове ізометричне напруження та наступне глибоке розслаблення під час ПІР працюють як високоресурсна «м'язова помпа».

Цей механізм вичавлює застояну венозну кров та лімфу, перенасичену медіаторами запалення, вільними радикалами, молочною кислотою та ноцицептивними субстанціями (брадикініном, гістаміну, субстанцією Р) з товщі чотириголового м'яза. Після розслаблення виникає ефект реактивної гіперемії — потужний приплив свіжої, багатої на кисень артеріальної крові [3]. Покращення мікроциркуляції та механічний натяг під час маніпуляції згинання генерують п'єзоелектричний ефект у колагенових волокнах, що призводить до локального підвищення температури тканин. Цей термомеханічний феномен (тиксотропія)

повертає основній речовині фасції розгинача плинність, руйнує патологічні актино-міозинові містки, відновлює ковзання фасціальних шарів передньої поверхні стегна та ліквідує активні тригерні точки [2].

Клінічний алгоритм виконання постізометричної релаксації вимагає від спеціаліста точності, сувого дотримання часових інтервалів та встановлення глибокого перцептивного контакту з пацієнтом. Процедура строго стандартизована і складається з чотирьох обов'язкових етапів. На першому етапі здійснюється виведення гомілки на первинний фізіологічний бар'єр: колінний суглоб пасивно згинається до моменту першого відчутного м'якого опору з боку чотириголового м'яза стегна, категорично не доводячи до появи болю.

Другий етап — фаза ізометричного скорочення. Пацієнту, який лежить на животі, дається чітка команда виконати надзвичайно легке напруження м'яза у напрямку розгинання (натиснути гомілкою на руку терапевта, намагаючись випрямити ногу). Фахівець чинить абсолютно еквівалентний опір, не дозволяючи відбутися руху в просторі. Критично важливо, щоб інтенсивність напруження була мінімальною (10–20% від максимального зусилля), оскільки надмірне скорочення активує міотатичний рефлекс та викликає додатковий спазм. Тривалість ізометричної фази становить 7–10 секунд — час, фізіологічно необхідний для активації органів Гольджі сухожилля квадрицепса. Скорочення супроводжується глибоким вдихом та поглядом угору (окорухова синкінезія), що рефлекторно полегшує тимчасову активацію мотонейронів.

Третій етап — фаза релаксації. Пацієнт робить повільний, тривалий видих, опускає погляд донизу і плавно, повністю припиняє тиск на руку терапевта. Фахівець витримує латентну паузу (2–3 секунди), дозволяючи хвилі рефлекторного гальмування повністю охопити волокна чотириголового м'яза стегна. Помилкою є негайне згинання коліна відразу після команди «розслабитися», оскільки нервова тканина ще не встигає увійти у рефрактерний стан електроміографічної тиші.

Четвертий етап — фаза пасивного розтягування (поглиблення згинання).

Саме під час фізіологічного вікна абсолютного розслаблення розгиначів фахівець надзвичайно плавно та обережно збільшує кут згинання в колінному суглобі до нового фізіологічного бар'єра. У цій новій позиції досягнутого згинання кінцівка фіксується на 10–15 секунд для закріплення еластичності колагенових волокон під впливом механічного фактора (феномен повзучості тканин — creep). Описаний цикл повторюється від 3 до 5 разів поспіль. З кожним наступним повторенням амплітуда згинання в суглобі поступово та абсолютно безболісно збільшується.

Сфери застосування постізометричної релаксації в сучасній клінічній практиці є надзвичайно широкими: від лікування дорсопатій та цервікалгій до спортивної реабілітації [1]. Проте найвищої актуальності та клінічної значущості ця методика набуває саме в ортопедичній реабілітації пацієнтів після тотального ендопротезування суглобів. Після заміни колінного суглоба ключовим завданням ПІР є боротьба з захисним гіпертонусом чотириголового м'яза стегна, який виступає головним біомеханічним чинником формування стійкої розгинальної контрактури. Обмеження згинання навіть на кілька градусів катастрофічно порушує локомоторний статус пацієнта, позбавляючи його функціональної незалежності у побуті.

Застосування ПІР для розслаблення чотириголового м'яза стегна дозволяє одночасно вирішити цілий комплекс клінічних завдань у післягострому періоді [4]. По-перше, ліквідується стійкий міогенний опір передньої групи м'язів стегна, що дає змогу колінному суглобу безперешкодно згинатися на кути, необхідні для реалізації життєво важливих локомоцій. Нагадаємо, що для нормальної ходьби рівною поверхнею коліно повинно згинатися мінімум на 65°, для подолання сходинок — на 90–100°, а для безпечного вставання з низького сидіння або посадки у транспорт вимагається амплітуда згинання до 105–115° [12]. По-друге, усунення гіпертонусу розгиначів знімає хронічне патологічне навантаження на пателофеморальну зону, ефективно купіруючи вторинний больовий синдром переднього відділу коліна та усуваючи прояви артрогенного м'язового гальмування.

Опубліковані наукові та емпіричні відомості переконливо засвідчують високу терапевтичну цінність мануальних технік у лікуванні суглобової патології. Встановлено, що інтеграція протоколів ПІР у реабілітаційні алгоритми забезпечує швидке та статистично значуще зниження інтенсивності болю за ВАШ, достовірне покращення еластичності периартикулярних тканин та експоненціальне відновлення амплітуди рухів [2]. Крім того, м'який, неінвазивний та абсолютно безболісний характер маніпуляції здійснює потужний вплив на вегетативну нервову систему, зміщуючи баланс у бік парасимпатичної активації. Це суттєво знижує загальний рівень тривожності пацієнта, допомагає подолати психологічний острах перед згинанням ноги, нормалізує сон та багаторазово підвищує загальний комплаєнс — мотиваційну прихильність особи до систематичного виконання реабілітаційної програми [3].

Резюмуючи масив викладеного анатомо-фізіологічного матеріалу, клінічне використання постізометричної релаксації визнається не просто механічним розтягуванням вкорочених фасцій, а надзвичайно глибоким, цілеспрямованим та інтелектуальним діалогом із центральною та периферичною нервовою системою пацієнта. Використання філогенетично закріплених нейрофізіологічних рефлексів аутогенного та реципрокного гальмування дозволяє безпечно розірвати руйнівні патологічні каскади міофасціального болю, тканинної ішемії та артрогенного гальмування. Обов'язкове включення цієї передової, науково обґрунтованої методики до стандартизованих протоколів комплексної фізичної терапії у післягострому періоді після ендопротезування колінного суглоба створює оптимальні біомеханічні та трофічні умови. Це гарантує відновлення повноцінної амплітуди згинання, запобігає формуванню незворотних фіброзних контрактур, сприяє відновленню правильного патерну ходьби та забезпечує максимальну функціональну незалежність і високу якість життя пацієнта.

## 1.6. Огляд сучасних методів фізичної терапії після тотального ендопротезування колінного суглоба

Тотальне ендопротезування колінного суглоба (ТКА) розглядається як високоефективне хірургічне втручання, що здатне кардинально покращити якість життя пацієнтів із термінальними стадіями гонартрозу. Однак сама по собі операція забезпечує лише анатомічну передумову для відновлення: формує нові, конгруентні суглобові поверхні та вирівнює вісь кінцівки. Кінцевий функціональний результат безальтернативно залежить від якості, інтенсивності та патофізіологічної обґрунтованості подальшого реабілітаційного процесу [11].

Огляд сучасної доказової бази підтверджує, що фізична терапія після ТКА еволюціонувала від простих пасивних рухів до складної, багатокомпонентної системи впливу, яка інтегрує терапевтичні вправи, мануальні техніки, апаратні методики та когнітивно-поведінковий супровід [9].

Фундаментальною основою сучасної післяопераційної реабілітації залишається **спеціалізована терапевтична гімнастика**. Застосування фізичних вправ має чітку патофізіологічну мету: усунення артрогенного м'язового гальмування (АМІ), відновлення силової витривалості чотириголового м'яза стегна (квадрицепса) та запобігання формуванню фіброзних контрактур.

Фізіотерапевтичні протоколи суворо поділяються на вправи у відкритому та закритому кінематичних ланцюгах. Вправи у відкритому кінематичному ланцюзі (коли дистальний сегмент кінцівки — стопа — вільно рухається у просторі) традиційно застосовуються на ранніх етапах для ізольованого тренування конкретних м'язових груп. Типовим прикладом є згинання та розгинання гомілки в положенні сидячи. Однак сучасні клінічні настанови обмежують їхнє надмірне використання у перші тижні через створення високих зсувних зусиль (shear forces) у ділянці стегново-великогомілкового зчленування, що може спричинити

подразнення перипротезних тканин та посилення больового синдрому [31].

Стратегічна перевага у післягострому періоді надається вправам у закритому кінематичному ланцюзі, де дистальний сегмент (стопа) жорстко зафіксований на опорі (підлозі, платформі тренажера). До цієї категорії належать різноманітні модифікації присідань, випади, жим ногами та використання степ-платформ. Біомеханічний аналіз підтверджує, що такі вправи є максимально фізіологічними, оскільки вони реплікують реальні патерни повсякденної активності (ходьбу, вставання зі стільця, подолання сходів) [33]. Більше того, осьове навантаження під час їх виконання стимулює одночасне (коконтракційне) напруження м'язів-агоністів та антагоністів, що багаторазово підвищує динамічну стабільність штучного суглоба і сприяє швидшій остеоінтеграції безцементних компонентів [12].

Окремим, революційним напрямом сучасної фізичної терапії стало впровадження **ексцентричних тренувань**. На відміну від концентричного скорочення, ексцентричний режим передбачає напруження м'яза під час його контрольованого подовження (наприклад, повільне опускання ваги або повільне присідання). Клінічна практика доводить, що ексцентричні вправи генерують значно вищу м'язову силу при менших метаболічних (кисневих) витратах, що є критично важливим для пацієнтів похилого віку із супутньою серцево-судинною патологією. Крім того, такий режим роботи стимулює поздовжнє ремоделювання колагенових волокон у сухожиллях, запобігаючи розвитку міогенних контрактур [30].

Усунення дефіциту амплітуди рухів (ROM) і боротьба з розгинальними контрактурами вимагає застосування **м'яких мануальних технік**. Форсоване пасивне розтягнення (розтягування через біль, насильне згинання коліна), який домінував у протоколах минулого століття, сьогодні визнано травматичним та небезпечним [24].

Альтернативою виступають техніки м'язової енергії (Muscle Energy Techniques), серед яких домінуючу позицію займає **постізометрична релаксація**

**(ПІР)**. Обґрунтування вибору саме цієї методики базується на чотирьох ключових патофізіологічних перевагах:

1. **Обхід міотатичного рефлексу:** Примусове форсоване розтягнення квадрицепса сприймається нервовою системою як загроза розриву, що викликає захисний спазм (рефлекс на розтягнення). ПІР, навпаки, використовує феномен аутогенного гальмування: після легкого (10–20% від максимуму) ізометричного напруження спазмованого м'яза активуються сухожильні органи Гольджі, що призводить до фази глибокого, природного фізіологічного розслаблення [5].
2. **Абсолютна безпечність та безболісність:** Маніпуляція виконується виключно в межах безболісного бар'єра. Це усуває страх пацієнта перед рухом (кінезіофобію) та гарантує відсутність мікронадривів капсульно-зв'язкового апарату чи свіжих хірургічних швів.
3. **Купірування артрогенного гальмування:** Спазмований та болючий м'яз рефлекторно "вимикається" мозком (феномен АМІ). Дозоване ізометричне напруження під час ПІР дозволяє пацієнту безпечно відновити нейромоторний контроль над розгиначем. Після розслаблення квадрицепс стає більш сприйнятливим до вольових команд, що прискорює повернення м'язової сили.
4. **Виражений анальгетичний ефект:** Зниження гіпертонусу розблоковує локальну мікроциркуляцію, вимиваючи алгогенні речовини (гістамін, брадикінін) із тканин, що забезпечує миттєве полегшення больового синдрому.

Застосування ПІР дозволяє фізичному терапевту безболісно зігнути суглоб, розтягнути фасціальні оболонки розгинача до нового бар'єра. Аналіз міжнародних клінічних даних підтверджує, що інтеграція ПІР забезпечує достовірно швидше купірування больового синдрому та відновлення повноцінного згинання коліна

порівняно з ізольованим виконанням традиційних вправ [1-3]. Ця методика є незамінною для усунення захисного гіпертонусу передньої групи м'язів стегна (квадрицепса), який є головною причиною формування розгинальних контрактур та блокування рухливості коліна.

Відновлення втраченої пропріоцепції (суглобово-м'язового відчуття) здійснюється за допомогою **сенсомоторних та нейром'язових тренувань**. Радикальне видалення уражених нативних структур (зокрема хрестоподібних зв'язок) позбавляє мозок критично важливої аферентної інформації про просторове положення кінцівки [8]. Для компенсації цього дефіциту застосовуються вправи на нестабільних поверхнях (балансувальні платформи BOSU, баланс-борди, поролонові мати). Створення штучної нестабільності змушує центральну нервову систему активувати резервні пропріорецептори шкіри та м'язових веретен, формуючи нові нейрональні зв'язки. Поступове ускладнення завдань (наприклад, утримання рівноваги із заплющеними очима або одночасне виконання когнітивних завдань) суттєво покращує постуральний контроль та знижує ризик падінь у повсякденному житті.

Важливим компонентом раннього та післягострого періодів є застосування **апаратної терапії**. Широкого розповсюдження набула технологія безперервного пасивного руху (Continuous Passive Motion, **CPM-терапія**). Використання моторизованих шин дозволяє здійснювати ритмічне згинання та розгинання кінцівки без активної участі м'язів пацієнта. CPM-терапія ефективно запобігає формуванню внутрішньосуглобових спайок, стимулює циркуляцію синовіальної рідини та прискорює резорбцію післяопераційного гемартрозу. Хоча сучасні огляди вказують на те, що CPM не має суттєвого впливу на довгострокові показники сили, її застосування у перші тижні критично важливе для подолання страху руху та досягнення цільової амплітуди згинання (понад 90 градусів) [10].

Для подолання артрогенного м'язового гальмування (AMI) квадрицепса доказово обґрунтованим є використання **нейром'язової електростимуляції**

**(NMES)**. Подача дозованих електричних імпульсів через нашкірні електроди викликає деполяризацію моторних нервів та штучне, неконтрольоване пацієнтом скорочення м'язових волокон [28]. Особливість методу полягає у тому, що електричний струм активує насамперед швидкі (тип II) м'язові волокна, які є найбільш вразливими до післяопераційної деградації та найважче активуються вольовим зусиллям. Синхронізація апаратної електростимуляції з активними спробами пацієнта розігнути ногу створює потужний біологічний зворотний зв'язок, що дозволяє «перепрограмувати» центральну нервову систему та відновити втрачений моторний контроль.

Боротьба з хронічним післяопераційним набряком та міофасціальним болем вимагає інтеграції **фізіотерапевтичних преформованих факторів**. Механічна компресійна терапія (інтермітуюча пневмокомпресія) сприяє евакуації інтерстиціальної рідини, покращуючи лімфатичний дренаж. Локальна кріотерапія залишається «золотим стандартом» для зниження метаболічної активності тканин, зменшення ексудації та купірування гострого ноцицептивного болю [15]. У післягострому періоді, коли на перший план виходить фіброзне переродження капсули, доцільним є використання ударно-хвильової терапії (УХТ) або високоінтенсивної лазеротерапії (HIL). Ці методи стимулюють локальний ангіогенез (утворення нових мікрокапілярів), активують метаболізм фібробластів та сприяють руйнуванню патологічних кальцифікатів і грубих рубцевих зшивок.

Надзвичайно актуальним напрямом сучасної реабілітації є **телемедицина та застосування цифрових технологій**. Впровадження мобільних додатків, систем відеомоніторингу та портативних інерційних датчиків (wearables) дозволяє фізичному терапевту дистанційно контролювати комплаєнс пацієнта, якість виконання домашньої програми вправ та динаміку відновлення кутів у суглобі [17]. Цифровізація забезпечує безперервність реабілітаційного процесу після виписки зі стаціонару, що є критично важливим для маломобільних пацієнтів або мешканців віддалених регіонів [27].

Резюмуючи масив опрацьованих фахових матеріалів, можна стверджувати, що сучасна фізична терапія після тотального ендопротезування колінного суглоба відмовилася від шаблонних, агресивних методик на користь інтелектуальних, патофізіологічно обґрунтованих втручань. Перехід від форсованого стретчингу до постізометричної релаксації, акцент на вправах у закритому кінематичному ланцюзі, використання ексцентричних навантажень та інтеграція сенсомоторних тренувань створюють ідеальні умови для повної функціональної реінтеграції. Індивідуальний підбір засобів, заснований на постійному моніторингу м'язового тонусу, больового синдрому та біомеханіки ходьби, гарантує повернення пацієнта до повноцінного, безболісного та соціально активного життя.

# РОЗДІЛ 2. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 2.1. Методологія та організація дослідження

Організація клінічного етапу роботи включала чітко структуровану послідовність дій, спрямованих на забезпечення максимальної валідності та надійності отриманих результатів. Усі заходи здійснювалися із суворим дотриманням принципів біоетики, викладених у Гельсінській декларації Всесвітньої медичної асоціації. Кожен пацієнт перед початком курсу отримував вичерпну інформацію про мету, тривалість та зміст запропонованої програми фізичної терапії, після чого підписував форму добровільної інформованої згоди. Гарантувалася повна конфіденційність медичних та персональних даних, а також право відмовитися від участі на будь-якому етапі без жодних наслідків.

Практична частина виконувалася із залученням репрезентативної вибірки, що складалася з 10 осіб (віковий діапазон від 55 до 75 років), які перенесли первинне тотальне ендопротезування колінного суглоба. Відбір учасників базувався на жорстких критеріях включення та виключення. До критеріїв включення належали: стабільний соматичний стан, перехід до амбулаторного етапу післягострого періоду (4-й тиждень після хірургічного втручання), наявність вираженої **розгинальної контрактури** (обмеження амплітуди активного згинання гомілки менше 75°), наявність захисного гіпертонусу чотириголового м'яза стегна та високий рівень мотивації до відновлення. Критеріями виключення слугували тяжкі декомпенсовані хронічні захворювання, гіпертонічна хвороба, ранні післяопераційні ускладнення (тромбоз глибоких вен, перипротезна інфекція), ревізійне ендопротезування та когнітивні розлади, що унеможливлювали адекватну співпрацю з фізичним терапевтом. Жорсткий відбір забезпечив високу клінічну однорідність контингенту за основними медичними показниками.

З метою об'єктивного порівняння ефективності різних підходів загальний масив пацієнтів було рандомізовано на дві рівноцінні групи: контрольну (КГ, n=5) та основну (ОГ, n=5). Як показав подальший статистичний аналіз вихідних даних (етап Т0), за віковими, антропометричними параметрами та початковим функціональним станом групи не мали достовірних відмінностей ($p > 0,05$). Пацієнти контрольної групи проходили курс відновлення за стандартним інституційним протоколом фізичної терапії, який включав активні вправи та традиційне пасивне розтягнення (стретчинг).

Основна група додатково отримувала спеціалізовані мануальні втручання, ядром яких було системне застосування технік постізометричної релаксації (ПІР) цілеспрямовано для чотириголового м'яза стегна. **Методологічним обґрунтуванням вибору саме ПІР** стала необхідність подолання специфічного патофізіологічного бар'єра — міотатичного рефлексу. Традиційне пасивне розтягнення часто провокує посилення захисного спазму розгиначів у відповідь на біль. Натомість інтеграція ПІР дозволила нам використовувати механізм аутогенного гальмування через сухожильні органи Гольджі: легке ізометричне напруження квадрицепса викликало його подальше глибоке рефлекторне розслаблення. Це дало змогу безпечно, без болю та мікротравматизації збільшувати кут згинання коліна та одночасно долати артрогенне м'язове гальмування.

Реалізація програми фізичної терапії відбувалася на базі амбулаторного реабілітаційного відділення. Загальна тривалість цільового курсу для обох груп становила 8 тижнів (з 4-го по 12-й тиждень після операції). Програма включала щоденні заняття, які виконувалися під безпосереднім контролем фізичного терапевта. Сеанси складалися з активної та пасивно-активної мобілізації, використання апаратів безперервної пасивної розробки (CPM-терапія) для стимуляції трофіки хряща, а також комплексу засобів апаратної фізіотерапії (нейром'язова електростимуляція) для підтримки тонусу м'язів і зниження інтенсивності набряку.

Учасники також регулярно проходили освітні сесії та заходи з функціональної рухової адаптації, під час яких відпрацьовувалася правильна біомеханіка виконання повсякденних локомоцій (безпечне вставання зі стільця, підйом та спуск сходами), методи самостійної підтримки рухової активності та правила енергозбереження у побуті. Індивідуальний підхід до кожного пацієнта враховував особливості його больового порогу та темпи регенерації тканин, що суттєво підвищило загальний комплаєнс та задоволеність процесом відновлення.

Критично важливим аспектом організації було забезпечення абсолютно ідентичних базових умов тестування для всіх учасників. Заняття проводилися у стандартизований час, а контроль за правильністю техніки та поступовим збільшенням навантаження здійснювався безперервно. Процедура клінічної оцінки була чітко регламентована та поділялася на два ключові етапи: первинний скринінг (етап T0 — 4-й тиждень після операції, до початку диференційованого курсу) та фінальний контроль (етап T1 — 12-й тиждень після операції, після завершення 8-тижневої програми).

Для забезпечення валідності вимірювань використовувався комплекс об'єктивних та суб'єктивних методів. Об'єктивні параметри (гоніометрія амплітуди активного згинання, мануальне м'язове тестування сили розгиначів, тест 10-метрової ходьби) дозволяли зафіксувати точні біомеханічні зміни та рівень відновлення локомоторної функції. Суб'єктивні методи, що базувалися на стандартизованих шкалах (Візуальна аналогова шкала болю, специфічний опитувальник KOOS JR), надали можливість оцінити сприйняття пацієнтом власного стану, рівень ноцицепції та ступінь побутової незалежності [15].

Збір даних здійснювався з використанням сертифікованого інструментарію (універсальних пластикових гоніометрів, секундомірів), який застосовувався за єдиним стандартом для виключення похибок, пов'язаних із людським фактором. Завершальним етапом організації дослідження стала систематизація та математична обробка отриманого цифрового масиву. Зібрані результати

аналізувалися за допомогою методів медичної статистики (t-критерій Стьюдента, Т-критерій Вілкоксона, U-критерій Манна-Уітні). Це забезпечило максимальну точність інтерпретації даних та дозволило сформувати науково обґрунтовані висновки щодо доцільності та високої клінічної ефективності інтеграції постізометричної релаксації у протоколи післяопераційного відновлення.

### 2.1.1. Аналіз наукової літератури та інформаційних джерел

Метод критичного аналізу фахової наукової літератури та інформаційних джерел був застосований на початковому етапі виконання дослідження. Його головна мета полягала у формуванні стійкого теоретичного, біомеханічного та патофізіологічного фундаменту для подальшого обґрунтування клінічних втручань. Оскільки сучасна фізична терапія базується на суворих принципах доказової медицини (Evidence-Based Medicine), вивчення актуального світового досвіду стало обов'язковою передумовою для розробки безпечної та ефективної програми реабілітації пацієнтів після тотальної артропластики колінного суглоба.

Пошукова стратегія реалізовувалася через доступ до провідних міжнародних та національних наукометричних баз даних, електронних бібліотек і реєстрів медичних публікацій. Основними джерелами інформації слугували платформи PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library, а також спеціалізовані ортопедичні та реабілітаційні портали (зокрема Physiopedia). Для отримання максимально релевантного масиву даних використовувалися специфічні ключові терміни та їхні логічні комбінації (за допомогою булевих операторів AND, OR): «тотальне ендопротезування колінного суглоба» (total knee arthroplasty), «постізометрична релаксація» (post-isometric relaxation), «артрогенне м'язове гальмування» (arthrogenic muscle inhibition), «техніки м'язової енергії» (muscle

energy techniques), «міофасціальний біль» (myofascial pain) та «післяопераційні контрактури» (postoperative knee contractures).

Хронологічний діапазон опрацьованих джерел охоплював переважно публікації останнього десятиліття, що гарантувало високу актуальність матеріалу. Виняток становили лише фундаментальні праці з класичної анатомії, біомеханіки та фізіології рефлекторної діяльності, які мають статус базових академічних постулатів [16, 24].

Систематизація знайденого масиву інформації здійснювалася за трьома ключовими тематичними напрямами:

1. **Хірургічний та патофізіологічний вектор:** аналізувалися публікації, присвячені сучасним показанням до ендопротезування, технічним особливостям імплантації та структурі післяопераційних ускладнень [16, 24, 29]. Особлива увага приділялася опрацюванню механізмів виникнення ноцицептивного больового синдрому, тканинної ішемії та артрогенного м'язового гальмування квадрицепса у післягострому періоді [4, 31].
2. **Реабілітаційний вектор:** оцінювалися сучасні міжнародні протоколи ведення пацієнтів після заміни суглоба. Здійснювався порівняльний аналіз ефективності традиційної фізичної терапії, апаратної механотерапії (CPM) та впливу дозованого осьового навантаження на темпи відновлення локомоторної функції [19, 21].
3. **Нейрофізіологічний та мануальний вектор:** цей напрям був пріоритетним для обґрунтування теми дослідження. Детально вивчалася доказова база щодо використання м'яких мануальних технік в ортопедії [5]. Опрацьовані клінічні звіти та рандомізовані випробування дозволили констатувати високу результативність постізометричної релаксації у зниженні м'язового гіпертонусу, покращенні еластичності фасцій та відновленні амплітуди рухів [1-3].

Для опрацювання текстових масивів використовувалися методи контент-аналізу, синтезу, порівняння, індукції та дедукції. Метод порівняння дозволив

зіставити ефективність класичного (форсованого) розтягування тканин із нейрофізіологічним ефектом аутогенного гальмування під час ПІР. Завдяки синтезу розрізнені дані про біомеханіку коліна, особливості утворення рубцевих спайок та фізіологію рецепторів Гольджі були об'єднані в єдину стрункy концепцію патогенетичного лікування контрактур [34].

Отримані результати теоретичного пошуку виконали кілька критично важливих функцій. По-перше, вони дозволили науково обґрунтувати актуальність обраного напряму та підтвердити наявність «терапевтичного вікна» для впровадження нових методик. По-друге, огляд світової практики допоміг визначити оптимальні терміни початку застосування технік м'язової енергії (післягострий період) та сформувати критерії відбору пацієнтів. По-третє, аналіз валідованих інструментів вимірювання, які найчастіше використовуються у провідних світових клініках, дозволив обрати найбільш чутливі методи об'єктивізації результатів (зокрема шкали ВАШ, WOMAC, KOOS та гоніометрію), які згодом були імплементовані у дизайн дослідження.

### 2.1.2. Вивчення медичної документації пацієнтів після ТКА

Опрацювання медичної документації проводилося з метою об’єктивної верифікації клінічного статусу пацієнтів та підтвердження їхньої відповідності критеріям включення до програми. Головним завданням цього етапу було отримання базових відомостей, необхідних для безпечної та ефективної побудови програми фізичної терапії.

Аналізу підлягали медичні карти стаціонарних хворих (форма № 003/о) та виписні епікризи. Під час вивчення документів особлива увага приділялася таким аспектам:

- **Клінічний анамнез:** підтвердження діагнозу (гонартроз III–IV стадії), тривалість захворювання та наявність супутніх станів (ожиріння, діабет), що можуть впливати на швидкість відновлення та еластичність тканин.
- **Хірургічний протокол:** ідентифікація типу конструкції та методу її фіксації (цементний чи безцементний). Дана інформація була критично важливою для визначення допустимих меж механічного навантаження на кінцівку та вибору інтенсивності вольового зусилля пацієнта під час виконання постізометричної релаксації.
- **Оцінка раннього післяопераційного періоду:** вивчення динаміки загоєння рани та інтенсивності больового синдрому в перші 10 діб. Це дозволило відібрати пацієнтів без ознак запальних чи судинних ускладнень.

Таким чином, робота з документацією забезпечила формування однорідної групи пацієнтів віком 55–75 років, які перебували у післягострому періоді (14–21 доба після операції). Такий підхід дозволив уникнути зайвого опису другорядних даних, зосередившись виключно на показниках, що мають пряме значення для реалізації відновлювальних заходів.

### 2.1.3. Методи оцінки функціонального стану колінного суглоба

Об’єктивізація результатів відновлювальних заходів та верифікація ефективності застосованих технік постізометричної релаксації вимагала використання валідованих клініко-інструментальних методів. Комплексна оцінка функціонального стану оперованої кінцівки проводилася у два етапи: вихідний скринінг (на 14–21 добу після операції) та підсумковий контроль (після завершення тримісячного курсу реабілітації).

Головним методом визначення мобільності суглоба слугувала **класична**

**гоніометрія**. Вимірювання амплітуди активних та пасивних рухів (Range of Motion, ROM) здійснювалося за допомогою стандартного медичного гоніометра з подовженими браншами (30 см), що дозволяло точно поєднувати вісь приладу з анатомічними осями стегна та гомілки. Процедура вимірювання проводилася за суворим протоколом: пацієнт перебував у положенні лежачи на спині на жорсткій кушетці. Вісь обертання гоніометра поєднувалася з проекцією латерального виростка стегнової кістки. Нерухома бранша спрямовувалася вздовж поздовжньої осі стегна у напрямку великого вертлюга, а рухома — вздовж осі гомілки до латеральної кісточки. Оцінювалися наступні параметри:

- **Максимальне активне та пасивне згинання колінного суглоба.** Цільовим показником для післягострого періоду вважалася амплітуда понад 100°. Наявність значного дефіциту згинання (амплітуда становить лише 60–70°) фіксувалася як **розгинальна контрактура**. Зіставлення активної та пасивної амплітуди дозволяло виявити «дефіцит активного дотягування», що свідчило про наявність артрогенного м’язового гальмування

Для кількісної оцінки інтенсивності больового синдрому використовувалася **Візуально-аналогова шкала (ВАШ)**. Даний метод дозволяв трансформувати суб’єктивне відчуття болю у цифрові дані. Пацієнту пропонувалося відзначити рівень болю на безмасштабній 10-сантиметровій лінії, де «0» означав повну відсутність болю, а «10» — максимально можливий біль. Оцінка проводилася у трьох клінічних ситуаціях: у стані спокою (для оцінки ноцицептивного фону), під час виконання перших кроків (стартовий біль) та на піку пасивного згинання коліна. Останній показник був критичним для визначення межі тканинного бар’єра під час виконання ПІР [3].

Для оцінки швидкості пересування, функціональної мобільності та загальної стабільності ходьби пацієнтів було застосовано 10-метровий тест ходьби (10-MWT). Дана методика дозволяє отримати об'єктивний кількісний показник темпу ходьби,

який у сучасній реабілітології часто розглядається як «шостий життєво важливий показник» стану здоров’я.

Процедура тестування проводилася за стандартизованим протоколом у коридорі реабілітаційного відділення на рівній поверхні без перешкод. Для нівелювання етапів прискорення та уповільнення загальна довжина дистанції становила 14 метрів:

- перші 2 метри — зона прискорення;
- центральні 10 метрів — зона вимірювання часу;
- фінальні 2 метри — зона уповільнення.

Пацієнтам пропонувалося пройти дистанцію у звичному для них темпі («комфортна швидкість ходьби»), використовуючи за необхідності засоби додаткової опори (ходунці або милиці), які були задіяні на даному етапі відновлення. Час проходження центрального 10-метрового відрізка фіксувався за допомогою секундоміра з точністю до 0,1 секунди. Розрахунок швидкості ходьби (V) здійснювався за формулою: $V = 10 / t$ (де t — час у секундах), а результат фіксувався у метрах за секунду (м/с). Даний тест дозволив об’єктивно оцінити вплив купірування м'язового гіпертонусу за допомогою ПІР на загальну кінематику ходьби.

Оцінка нейромоторного статусу та силових характеристик проводилася за допомогою **мануального м’язового тестування (ММТ)** за шестибальною шкалою Ловетта. Особлива увага приділялася чотириголовому м’язу стегна та ішіокруральній групі (задня поверхня стегна). Оцінка у 5 балів відповідала здатності м’яза подолати максимальний опір фахівця, тоді як нижчі показники свідчили про слабкість або гальмування [4].

Додатково застосовувався метод **клінічної пальпації**, що був обов’язковим для ідентифікації міофасціальних тригерних точок та зон стійкого гіпертонусу. Виявлення жорсткого міогенного бар’єра, який супроводжувався болем при спробі

подовження м’яза, слугувало прямим показанням до застосування постізометричної релаксації [10]. Комбінація цих методів дозволила створити цілісну картину функціональних порушень та об’єктивно відстежити динаміку їх усунення.

### 2.1.4. Методи анкетування

Методи анкетування та самооцінки пацієнтами свого стану були застосовані для отримання кількісних показників суб’єктивного сприйняття інтенсивності болю та рівня функціональних обмежень у повсякденному житті. Використання стандартизованих шкал дозволило об’єктивувати динаміку відновлення з точки зору пацієнта, що є критично важливим для оцінки ефективності програми фізичної терапії у післягострому періоді після тотальної артропластики колінного суглоба.

Основними інструментами самооцінки були обрані **Візуально-аналогова шкала (ВАШ)** та **опитувальник KOOS JR**.

**Візуально-аналогова шкала (ВАШ)** використовувалася як швидкий та валідований метод оцінки суб’єктивного відчуття болю. Пацієнтам пропонувалося зафіксувати рівень свого фізичного дискомфорту на 10-сантиметровій горизонтальній лінії, де ліва межа («0») відповідала повній відсутності болю, а права («10») — максимально інтенсивному, нестерпному болю. Показники фіксувалися у двох станах:

- **Біль у спокої:** дозволяв оцінити базовий рівень ноцицептивної активності та реакцію тканин на хірургічне втручання.
- **Біль під час руху:** оцінювався під час виконання функціональних завдань (ходьба, підйом зі стільця). Зниження цього показника розцінювалося як пряме підтвердження успішності застосування постізометричної релаксації у

подоланні міофасціального больового синдрому [3].

Для комплексної оцінки стану колінного суглоба застосовувався **опитувальник KOOS JR** — спеціалізована коротка форма, розроблена виключно для пацієнтів після ендопротезування. Цей інструмент є «суперкороткою» версією повної шкали KOOS, що забезпечує високий комплаєнс пацієнтів та мінімізує час на анкетування, зберігаючи при цьому високу клінічну точність.

KOOS JR містить 7 запитань, які охоплюють ключові аспекти життєдіяльності пацієнта після ТКА:

1. **Біль:** інтенсивність больових відчуттів під час поворотів на оперованій нозі та під час підйому або спуску сходами.
2. **Скутість:** вираженість відчуття тугорухливості у суглобі після пробудження, що є індикатором наявності міогенних контрактур.
3. **Фізична функція:** труднощі при вставанні з крісла, взуванні/роззуванні, підйомі сходами та вході/виході з автомобіля.

Відповіді оцінювалися за 5-бальною шкалою (від 0 — немає труднощів, до 4 — надзвичайно важко). Отриманий «сирий» бал (Raw Score) за допомогою спеціальної таблиці конвертації переводився в інтервальну шкалу від 0 до 100 балів. У цій системі 0 балів відповідає повному функціональному дефіциту (найгірший стан), а 100 балів — ідеальному функціональному стану суглоба.

Використання KOOS JR дозволило отримати інтегральний показник здоров’я колінного суглоба, що відображає не лише силу чи амплітуду, а й реальну спроможність пацієнта до самообслуговування. Порівняння результатів анкетування до початку програми та після завершення курсу реабілітації стало основою для доведення переваг інтеграції технік м’язової енергії у процес відновлення.

### 2.1.5. Інтерпретація результатів функціональних тестів

Інтерпретація отриманих даних виступала критичним етапом дослідження, під час якого здійснювався перехід від кількісних показників до якісних клінічних висновків. Процес аналізу базувався на порівнянні фактичних результатів тестування пацієнтів основної та контрольної груп із встановленими референтними (нормативними) значеннями та показниками інтактної кінцівки. Це дозволило об'єктивно оцінити ефективність інтеграції постізометричної релаксації у програму фізичної терапії.

Критерії інтерпретації було розподілено за ключовими функціональними доменами:

**1. Інтерпретація показників больового синдрому (ВАШ):** Зниження інтенсивності болю розцінювалося як позитивна динаміка. Згідно з прийнятими у реабілітології стандартами, зменшення показника на 2 та більше балів вважалося клінічно значущим покращенням.

- **0–3 бали:** легкий біль, що дозволяє виконувати вправи без значних обмежень;
- **4–7 балів:** помірний біль, що вимагає корекції навантаження та посилення фази релаксації у ПІР;
- **8–10 балів:** виражений біль, що свідчить про гостре запалення або надмірну інтенсивність маніпуляцій [3].

**2. Інтерпретація гоніометричних показників (ROM):** Оцінка амплітуди рухів базувалася на досягненні функціонально необхідних кутів згинання для щоденної активності. **Згинання:**

- **Амплітуда в межах 60–80°** трактувалася як наявність стійкої розгинальної контрактури, що спричиняє виражену функціональну недостатність (утруднення при вставанні з низької поверхні, неможливість спуску сходами).

- **Амплітуда в межах 100–110°** і більше вважалося показником високої ефективності відновлення мобільності.

**3. Інтерпретація показників м'язової сили (ММТ):**

- **3 бали:** здатність м'яза виконувати рух проти сили тяжіння, що є мінімальним порогом для самостійного пересування;
- **4–5 балів:** функціональна норма, що забезпечує стабільність суглоба та безпечний стереотип ходьби [4]. Відновлення здатності до повного активного розгинання (усунення «екстензійного лагу») розцінювалося як успішне подолання артрогенного м'язового гальмування.

**4.Інтерпретація результатів 10-метрового тесту ходьби (10-MWT):** Аналіз швидкості ходьби дозволив класифікувати пацієнтів за рівнем їхньої функціональної незалежності та прогнозувати здатність до безпечного пересування у громаді. Інтерпретація базувалася на наступних клінічних порогах:

- < 0,4 м/с: пацієнт обмежений пересуванням виключно у межах приміщення (госпітальний або домашній рівень);
- 0,4 – 0,8 м/с: обмежена мобільність у громаді (здатність самостійно відвідувати найближчі об'єкти інфраструктури);
- > 0,8 м/с: повна функціональна мобільність у межах громади (здатність безпечно переходити вулицю, користуватися громадським транспортом).

Клінічно значущим покращенням (Minimal Clinically Important Difference — MCID) вважалося збільшення швидкості на 0,1–0,2 м/с. Досягнення такої динаміки в основній групі розцінювалося як прямий наслідок покращення еластичності м'язів задньої групи стегна та активації чотириголового м'яза після сеансів постізометричної релаксації, що призводило до збільшення довжини кроку та стабілізації фази опори.

**5. Інтерпретація результатів анкетування (KOOS JR):** Оцінка результатів за цією шкалою передбачала дворівневу систему аналізу. Спочатку розраховувався **Raw Score (сирий бал)** — пряма сума відповідей пацієнта на 7 запитань анкети (від 0 до 28 балів). Оскільки «сирий бал» не є лінійним показником, його було конвертовано за допомогою стандартизованої таблиці у **KOOS JR Interval Score (інтервальний бал)** від 0 до 100.

Якісна оцінка проводилася виключно за показником **Interval Score**:

- **0–40 балів:** незадовільний стан (виражений функціональний дефіцит та інвалідність);
- **41–70 балів:** задовільний та добрий рівень функціонування (помірна обмеженість);
- **71–100 балів:** відмінний результат (повна соціальна та побутова адаптація пацієнта).

Комплексна інтерпретація дозволила не лише зафіксувати фінальні результати, а й оперативно коригувати програму реабілітації. Наприклад, поєднання високого балу болю за ВАШ та «жорсткого» бар'єра при гоніометрії вказувало на необхідність зниження інтенсивності вольового зусилля під час ПІР та збільшення часу експозиції пасивного розтягування. Внаслідок такого підходу аналіз результатів набув характеру динамічного моніторингу, що забезпечило максимальну індивідуалізацію відновлювального процесу.

### 2.1.6. Методи статистичної обробки даних

Статистична обробка та математичний аналіз отриманого цифрового масиву даних виступали завершальним етапом методологічного забезпечення дослідження. Головною метою застосування статистичних методів було підтвердження вірогідності спостережуваних змін функціонального стану пацієнтів, оцінка однорідності вибірки та доведення статистичної значущості розбіжностей між показниками основної та контрольної груп.

Для накопичення, систематизації та первинної обробки інформації (формування баз даних) використовувалися електронні таблиці Microsoft Excel. Поглиблений статистичний аналіз здійснювався за допомогою спеціалізованих пакетів прикладних програм (Statistica або аналогів).

Математичний апарат включав послідовне виконання наступних процедур:

1. **Описова (дескриптивна) статистика:** на першому етапі проводився розрахунок базових статистичних показників. Для кількісних величин обчислювалися середнє арифметичне значення (M) та стандартна похибка середнього (m). У тексті роботи та зведених таблицях отримані дані представлені у стандартизованому форматі M ± m.
2. **Перевірка на нормальність розподілу:** вибір конкретних математичних критеріїв залежав від характеру розподілу ознак у вибірках, що перевірявся за допомогою критерію Шапіро-Вілка.
3. **Оцінка достовірності відмінностей:** зважаючи на наявність у дослідженні як кількісних безперервних (показники гоніометрії, інтервальний бал KOOS JR), так і порядкових (бали інтенсивності болю за ВАШ, показники мануального м'язового тестування) даних, застосовувався диференційований підхід:

- Для порівняння динаміки показників всередині однієї групи (порівняння результатів до та після курсу реабілітації) при нормальному розподілі використовувався **парний t-критерій Стьюдента**, а при відхиленні від

нормального або для порядкових даних — непараметричний **Т-критерій Вілкоксона**.

- Для оцінки міжгрупових відмінностей (порівняння результатів основної та контрольної груп на ідентичних етапах) застосовувався **t-критерій Стьюдента для незалежних вибірок** (для параметричних даних) та **U-критерій Манна-Уітні** (для непараметричних шкал).

Критичний рівень статистичної значущості (p) під час перевірки нульових гіпотез приймався рівним 0,05. Розбіжності між показниками вважалися достовірними при рівні значущості $p < 0,05$, що відповідає загальноприйнятим стандартам надійності у доказовій медицині та фізичній терапії (імовірність безпомилкового прогнозу становить 95%). Відповідно, при $p > 0,05$ відмінності розцінювалися як статистично незначущі.

Графічне відображення результатів (побудова гістограм, лінійних графіків динаміки відновлення та кругових діаграм) здійснювалося для наочної візуалізації ефективності інтеграції технік постізометричної релаксації у протокол фізичної терапії в післягострому періоді після тотальної артропластики колінного суглоба. Комплексне застосування наведених статистичних методів забезпечило максимальну точність інтерпретації результатів та сформувало міцну доказову базу для підсумкових висновків.

## 2.2. Дизайн дослідження

Архітектура клінічного етапу роботи базувалася на принципах проспективного, порівняльного, рандомізованого спостереження з паралельними групами. Такий дизайн було обрано як найбільш оптимальний для встановлення причинно-наслідкових зв'язків між застосуванням специфічних мануальних технік та зміною функціональних показників опорно-рухового апарату у пацієнтів після тотального ендопротезування колінного суглоба (ТКА).

Реалізація практичної частини передбачала сувору регламентацію послідовності дій та складалася з трьох базових фаз: підготовчо-діагностичної (первинний скринінг), формувальної (етап втручання) та підсумково-аналітичної (контроль результатів).

**Формування груп та рандомізація**

Після верифікації критеріїв включення та виключення (шляхом аналізу медичної документації) загальний масив пацієнтів у кількості 10 осіб був розподілений на дві рівноцінні когорти. Розподіл здійснювався методом простої рандомізації, що дозволило уникнути систематичної похибки відбору та забезпечити максимальну однорідність мікрогруп за віковими, гендерними та вихідними клінічними параметрами.

- Контрольна група (КГ, n=5): пацієнти цієї групи проходили курс фізичної реабілітації за стандартним інституційним протоколом, що включав лікувальну гімнастику, апаратну пасивну розробку суглоба (CPM-терапію), дозовану ходьбу з додатковою опорою та базову фізіотерапію.

- Основна група (ОГ, n=5): пацієнти даної групи отримували аналогічний базовий протокол, який був структурно доповнений щоденним застосуванням технік постізометричної релаксації (ПІР). Мануальний вплив був сфокусований виключно на усуненні захисного гіпертонусу та спазму чотириголового м'яза

стегна (квадрицепса) для ліквідації розгинальної контрактури та подолання артрогенного м'язового гальмування.

**Хронологія та етапи спостереження**

Загальна тривалість цільового спостереження для кожного учасника становила 2 місяці (8 тижнів), що повністю охоплювало післягострий період післяопераційного відновлення.

1. Етап I: Первинний скринінг (T0). Проводився на 14–21 добу після оперативного втручання (безпосередньо перед початком формувального етапу). На цій стадії здійснювався збір вихідних даних для формування базової лінії (baseline). Виконувалося вимірювання інтенсивності болю (ВАШ), оцінка амплітуди рухів (гоніометрія), мануальне м'язове тестування (ММТ), оцінка швидкості пересування (10-метровий тест ходьби) та первинне заповнення опитувальника KOOS JR.

2. Етап II: Реалізаційний (формувальний) період. Тривав протягом наступних 8 тижнів. На цьому етапі пацієнти обох груп проходили інтенсивний курс відновлення. Заняття проводилися у стандартизованих умовах реабілітаційного залу. Усі втручання виконувалися за чітким розкладом, а інтенсивність навантаження коригувалася виключно на основі об'єктивних реакцій серцево-судинної системи та больового порогу пацієнта.

3. Етап III: Підсумковий контроль (T1). Здійснювався після завершення двомісячної програми. Проводилося повторне вимірювання всіх клініко-інструментальних та функціональних показників (ВАШ, гоніометрія, ММТ, 10-MWT, KOOS JR) за ідентичним протоколом. Для забезпечення високої надійності результатів оцінювання проводилося з використанням тих самих інструментів та в аналогічних умовах.

Завершальним кроком дизайну був перехід до "сліпої" статистичної обробки

отриманих результатів: цифрові масиви кодувалися без зазначення прізвищ та приналежності до конкретної групи, після чого передавалися для математичного аналізу. Такий ретельний підхід до планування та організації дослідження гарантував високий рівень внутрішньої валідності отриманих результатів, що дозволяє об’єктивно обґрунтувати ефективність запропонованої реабілітаційної програми.

# РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 3.1. Розробка програми фізичної терапії з використанням технік постізометричної релаксації

Розробка та впровадження спеціалізованої програми фізичної терапії базувалися на необхідності подолання специфічних ускладнень після тотальної артропластики колінного суглоба (ТКА). Пацієнти обох груп залучалися до активного курсу реабілітації на 4-му тижні після оперативного втручання. Загальна тривалість безпосередньої роботи з пацієнтами становила 8 тижнів.

Головним патобіомеханічним порушенням на даному етапі виступала розгинальна контрактура — стійке обмеження амплітуди згинання колінного суглоба, спричинене захисним гіпертонусом та вкороченням м'язів розгиначів — зокрема, чотириголового м'яза стегна.

**Програма самостійної роботи:** Важливою складовою відновлювального процесу для всіх пацієнтів було щоденне виконання базового комплексу вправ у домашніх умовах для підтримки трофіки тканин та базової мобільності. Домашній протокол включав:

- активне згинання та розгинання пальців стопи і гомілковостопного суглоба;
- кругові рухи стопою за та проти годинникової стрілки;
- ковзання п’ятою по площині з поступовим згинанням у колінному суглобі до та більше 90°;
- ізометричне напруження м'язів передньої поверхні стегна.

Структура заняття у реабілітаційному залі: безпосередньо під час візитів до фахівця застосовувався стандартизований фізіотерапевтичний протокол. Кожне заняття структурно поділялося на підготовчу, основну та заключну частини.

Підготовча частина заняття була спрямована на покращення локальної гемодинаміки та підготовку суглобово-м'язового апарату до навантажень. Вона дублювала елементи домашньої програми: рухи пальцями та стопою, кругові оберти в гомілковостопному суглобі, ковзання п'ятою із контрольованим згинанням коліна до та більше 90°, а також серію ізометричних напружень передньої поверхні стегна.

Основна частина складалася з активних вправ та механотерапії:

1. Заняття на велоергометрі з адаптованою амплітудою рухів ,у межах доступної амплітуди згинання в колінному суглобі, для покращення синовіального живлення та циклічної роботи м'язів.
2. Активне розгинання гомілки з вихідного положення сидячи на краю кушетки, виконувалося спочатку без обтяження, а згодом із використанням манжетних обважнювачів масою 1 кг для відновлення силової витривалості квадрицепса.
3. Функціональні присідання на кушетку з контролем кута згинання в колінному суглобі до 80° (тренування ексцентричної фази роботи розгиначів та стабілізації таза).

Заключна частина для контрольної групи (n=5) завершувалася класичним пасивним розтягненням чотириголового м'яза стегна у вихідному положенні лежачи на животі.

**Специфічне втручання: Протокол ПІР для основної групи** Для пацієнтів основної групи (n=5) заключна частина заняття була концептуально модифікована. Замість звичайного пасивного розтягнення застосовувалися цілеспрямовані сеанси постізометричної релаксації (ПІР) для чотириголового м'яза стегна з метою нейрофізіологічного усунення розгинальної контрактури та збільшення кута згинання.

Процедура ПІР виконувалася за наступним алгоритмом:

1. Вихідне положення: пацієнт перебував у положенні лежачи на животі. Фізичний терапевт плавно виконував пасивне згинання колінного суглоба до моменту відчуття тканинного опору з боку передньої поверхні стегна.
2. Ізометричне напруження: пацієнт здійснював спробу розігнути коліно, натискаючи гомілкою на руку терапевта з мінімальним зусиллям (10–20% від максимуму). Зусилля утримувалося протягом 7–10 секунд на тлі вдиху.
3. Релаксація: пацієнт робив видих і повністю розслабляв ногу (пауза 2–3 секунди для активації аутогенного гальмування).

Поглиблення згинання: на тлі повного розслаблення терапевт обережно збільшував згинання коліна, переводячи суглоб до нового бар'єра. Положення фіксувалося на 15–20 секунд.

Цикл повторювався 4–5 разів. Інтеграція ПІР саме з вихідного положення лежачи на животі дозволила максимально ефективно впливати на прямий м'яз стегна та швидко подолати міогенні обмеження, що заважали подальшому прогресу амплітуди згинання понад 90–100 градусів.

### 3.2. Початкові результати обстеження пацієнтів після ТКА

Первинне обстеження пацієнтів обох досліджуваних груп було проведене на 4-му тижні після оперативного втручання (етап Т0). Цей термін відповідає післягострому (підгострому) періоду реабілітації, коли пацієнти розпочинають активні заняття в умовах реабілітаційного залу. Метою даного етапу було встановлення вихідного функціонального рівня, об'єктивізація ступеня вираженості розгинальної контрактури та формування бази даних для подальшого

порівняльного аналізу ефективності втручання.

Результати первинного скринінгу за основними показниками (інтенсивність болю, амплітуда рухів, м’язова сила, швидкість ходьби та якість життя) представлені у таблиці 3.1.

**Таблиця 3.1 – Показники пацієнтів на початку курсу реабілітації (4-й тиждень після операції, етап T0)**

| № | Група дослідження | ВАШ (бали) | Активне згинання (°) | ММТ (бали) | 10-MWT (м/с) | KOOS JR (бали) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Контрольна | 6 | 60° | 3 | 0,52 | 50,5 |
| 2 | Контрольна | 7 | 65° | 4 | 0,61 | 54,8 |
| 3 | Контрольна | 6 | 68° | 3 | 0,48 | 51,2 |
| 4 | Контрольна | 5 | 62° | 3 | 0,58 | 49,8 |
| 5 | Контрольна | 7 | 65° | 4 | 0,55 | 55,3 |
| 6 | Основна | 6 | 63° | 3 | 0,59 | 52,4 |
| 7 | Основна | 5 | 60° | 3 | 0,51 | 50,1 |

| № | Група дослідження | ВАШ (бали) | Активне згинання (°) | ММТ (бали) | 10-MWT (м/с) | KOOS JR (бали) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | Основна | 6 | 72° | 4 | 0,53 | 54,0 |
| 9 | Основна | 7 | 58° | 3 | 0,62 | 51,8 |
| 10 | Основна | 6 | 66° | 4 | 0,57 | 55,0 |
| **M±m КГ** | **Контрольна група** | **6,2 ± 0,3** | **64,0 ± 1,4** | **3,4 ± 0,2** | **0,55 ± 0,02** | **52,3 ± 1,1** |
| **M±m ОГ** | **Основна група** | **6,0 ± 0,3** | **63,8 ± 2,3** | **3,4 ± 0,2** | **0,56 ± 0,02** | **52,7 ± 0,9** |

**Аналіз вихідних даних:**

Результати первинного обстеження свідчать про виражений та рівномірний функціональний дефіцит у пацієнтів обох груп, що відображає типову клінічну картину для пацієнтів на місячному терміні після тотальної артропластики колінного суглоба. Провідним чинником, що лімітував рухову активність пацієнтів, виступав больовий синдром середньої та високої інтенсивності. У контрольній групі середнє значення за ВАШ склало 6,2 ± 0,3 бала, в основній — 6,0 ± 0,3 бала. Наявність такого ноцицептивного фону зумовлює рефлекторне напруження параартикулярних тканин та формування стійкої анталгічної установки кінцівки, що суттєво ускладнює процес ранньої мобілізації суглоба.

Ключовим патобіомеханічним порушенням на етапі Т0 виступала

розгинальна контрактура міогенного генезу. У всіх пацієнтів зафіксовано «захисний» гіпертонус чотириголового м'яза стегна, який створював виражений механічний та больовий бар'єр під час спроб згинання гомілки. Показники гоніометрії коливалися в межах 60°–68° у контрольній групі (середнє значення 64,0 ± 1,4) та в межах 58°–72° в основній групі (середнє значення 63,8 ± 2,3). Незначні коливання індивідуальних значень відображають природні фізіологічні особливості пацієнтів, проте групові середні свідчать про високий ступінь гомогенності вибірки.

Нейромоторний статус пацієнтів характеризувався значним зниженням силових характеристик м'язів-розгиначів. Показники мануального м'язового тестування (ММТ) в обох групах виявилися ідентичними і зафіксовані на рівні 3,4± 0,2 бала. Це безпосередньо вказує на наявність стійкого артрогенного м'язового гальмування — клінічного стану, за якого тривалий післяопераційний набряк, локальне запалення та біль у суглобі рефлекторно пригнічують активність альфа-мотонейронів чотириголового м'яза стегна.

Поєднання больового синдрому, зниженої сили вольового скорочення м'язів та обмеженої амплітуди рухів призвело до суттєвого уповільнення швидкості ходьби пацієнтів. Середня швидкість за тестом 10-MWT становила 0,55 ± 0,02 м/с у контрольній групі та 0,56 ± 0,02 м/с в основній групі, що класифікує пацієнтів як осіб із локальною мобільністю, обмеженою переважно межами житлового приміщення.

Суб’єктивне сприйняття якості життя за шкалою KOOS JR (середній бал 52,3 ± 1,1 у контрольній та 52,7 ± 0,9 в основній групі) відображало високий рівень функціональної дезадаптації. Пацієнти суб'єктивно відзначали значні труднощі та острах під час спроб підйому чи спуску сходами, вставання з положення сидячи без сторонньої опори та виконання щоденних гігієнічних процедур.

**Висновок за етапом Т0:** Узагальнення вихідних параметрів за всіма досліджуваними тестами та їх математичне порівняння підтвердило повну статистичну однорідність груп ($p > 0,05$). Відсутність достовірних міжгрупових

відмінностей на початку дослідження, поєднана з природною варіативністю індивідуальних результатів пацієнтів, створює необхідні умови для проведення об'єктивного порівняльного дослідження. Це дозволяє стверджувати, що будь-які статистично значущі розбіжності між групами, які будуть зафіксовані на фінальному етапі, будуть обумовлені виключно диференційованим підходом до вибору засобів фізичної терапії та клінічною ефективністю інтеграції технік ПІР.

### 3.3. Зміни після застосування програми ПІР

Аналіз результатів, отриманих після завершення повного восьмитижневого курсу реабілітації (12-й тиждень після операції, етап Т1), свідчить про виражений позитивний тренд у відновленні функціонального стану пацієнтів обох досліджуваних груп. Для забезпечення повної конфіденційності особистих даних у результатах дослідження пацієнтам було присвоєно анонімні коди за першими літерами прізвищ, а їх розподіл зафіксовано під порядковими номерами від 1 до 10. Підсумкові індивідуальні та середньогрупові показники для обох груп, зафіксовані на етапі Т1, представлені у таблиці 3.2.

**Таблиця 3.2 – Показники пацієнтів наприкінці курсу реабілітації (12-й тиждень після операції, етап Т1)**

| № | Група | ВАШ (бали) | Активне згинання (°) | ММТ (бали) | 10-MWT (м/с) | KOOS JR (бали) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Контрольна | 3 | 82° | 4 | 0,72 | 64,1 |
| 2 | Контрольна | 4 | 85° | 4 | 0,78 | 66,2 |

| № | Група | ВАШ (бали) | Активне згинання (°) | ММТ (бали) | 10-MWT (м/с) | KOOS JR (бали) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Контрольна | 3 | 88° | 5 | 0,69 | 65,4 |
| 4 | Контрольна | 2 | 84° | 4 | 0,81 | 63,9 |
| 5 | Контрольна | 3 | 80° | 4 | 0,71 | 68,5 |
| 6 | Основна | 1 | 108° | 5 | 1,02 | 80,5 |
| 7 | Основна | 1 | 112° | 5 | 1,08 | 85,1 |
| 8 | Основна | 0 | 116° | 5 | 0,92 | 81,3 |
| 9 | Основна | 1 | 107° | 5 | 1,00 | 76,8 |
| 10 | Основна | 2 | 106° | 5 | 1,04 | 84,2 |
| **M±m КГ** | **Контрольна група** | **3,0 ± 0,3** | **83,8 ± 1,3** | **4,2 ± 0,2** | **0,74 ± 0,02** | **65,7 ± 0,8** |
| **M±m ОГ** | **Основна група** | **1,0 ± 0,3** | **109,8 ± 2,0** | **5,0 ± 0,0** | **1,01 ± 0,03** | **81,6 ± 1,5** |

Використання технік постізометричної релаксації (ПІР) в основній групі дозволило досягти якісного стрибка в показниках мобільності, що суттєво перевершило темпи відновлення при застосуванні виключно стандартного протоколу в контрольній групі.

Найбільш вагомим досягненням основної групи став динамічний ріст амплітуди активного згинання колінного суглоба. Якщо на початку курсу група демонструвала виражену міогенну ригідність, то наприкінці програми середній показник активного згинання в основній групі зріс до **109,8° ± 2,0°** (порівняно з **83,8° ± 1,3°** у контрольній групі). Цей приріст є стратегічно важливим: подолання бар'єра у 100° означає перехід пацієнтів до повноцінного рівня функціонування. Це фізіологічний мінімум, який дозволяє безперешкодно сідати на стілець стандартної висоти, підніматися з низьких поверхонь та здійснювати безпечний спуск сходами без використання додаткової опори. У контрольній групі жоден пацієнт не зміг подолати цей критичний руховий поріг, що вказує на лімітованість механічного розтягнення за наявності захисного спазму.

Паралельно з відновленням амплітуди рухів спостерігалося стабільне та глибоке зниження інтенсивності больового синдрому. Середній показник за шкалою ВАШ в основній групі знизився до **1,0 ± 0,3 бала**, що свідчить про практичну ліквідацію післяопераційного ноцицептивного дискомфорту. Такий рівень анальгезії дозволив групі виконувати повсякденні справи без страху перед рухом, створюючи сприятливий фон для остаточного нейромоторного відновлення. Зниження болю безпосередньо корелювало з усуненням захисного спазму розгиначів, тоді як у контрольній групі середній бал зупинився на позначці **3,0 ± 0,3 бала**, залишаючи відчутний больовий бар'єр при навантаженнях.

Особливу увагу варто приділити відновленню нейромоторного контролю. Основна група продемонструвала стовідсотковий успіх у відновленні м'язової сили

до максимального рівня **5,0 ± 0,0 бала за ММТ**. Це повне усунення артрогенного м'язового гальмування стало фундаментом для покращення кінематики ходьби. Середня комфортна швидкість пересування в основній групі зросла до **1,01 ± 0,03 м/с**, що за міжнародними стандартами відповідає рівню повної соціальної мобільності та значно перевищує результат контрольної групи, де середня швидкість склала **0,74 ± 0,02 м/с**. Досягнення швидкості понад 1,0 м/с в основній групі означає, що пацієнти отримали здатність автономно пересуватися поза межами приміщення, безпечно переходити вулицю у загальному темпі пішохідного потоку та вести активне соціальне життя.

Позитивний ріст усіх фізичних показників мав прямий вплив на суб’єктивне сприйняття якості життя учасників дослідження. Середній показник за опитувальником KOOS JR в основній групі зріс до **81,6 ± 1,5 бала**, що відображає високий рівень задоволеності результатом реабілітації. У контрольній групі цей показник виявився значно нижчим — **65,7 ± 0,8 бала**. Усунення розгинальної контрактури та повернення сили квадрицепса в основній групі призвело до зникнення відчуття ранкової скутості та побутової залежності від оточуючих.

Таким чином, програма з інтеграцією постізометричної релаксації забезпечила основній групі не просто механічне збільшення градусів у суглобі, а комплексне повернення до активного, незалежного та безболісного способу життя, що доводить її високу клінічну ефективність порівняно зі стандартними підходами.

### 3.4. Ефективність та обговорення результатів дослідження

Для об’єктивного підтвердження висунутої гіпотези щодо переваг програми з інтеграцією постізометричної релаксації (ПІР) був застосований комплексний математично-статистичний апарат. Згідно з методологією дослідження, на першому етапі проводилася описова статистика з розрахунком середнього арифметичного

значення (M) та стандартної похибки середнього (m).

Перевірка на нормальність розподілу здійснювалася за допомогою критерію Шапіро-Вілка. Зважаючи на наявність у роботі як кількісних безперервних (гоніометрія, 10-MWT, KOOS JR), так і порядкових дискретних даних (ВАШ, ММТ), застосовувався диференційований підхід. Для оцінки внутрішньогрупової динаміки (порівняння показників одного пацієнта до і після втручання) використовувався парний t-критерій Стьюдента (для параметричних даних) та Т-критерій Вілкоксона (для непараметричних даних). Для міжгрупових порівнянь на фінальному етапі Т1 застосовувався t-критерій Стьюдента для незалежних вибірок та U-критерій Манна-Уітні відповідно. Розбіжності вважалися статистично значущими при $p < 0,05$.

Результати статистичної обробки даних представлені у стандартизованому форматі M ± m у таблиці 3.3.

**Таблиця 3.3 – Динаміка функціональних показників у пацієнтів контрольної та основної груп у процесі реабілітації (M ± m)**

| **Показник** | **Етап** | **Контрольна група (n=5)** | **Основна група (n=5)** | **Достовірність відмінностей між групами (Т1)** |
|---|---|---|---|---|
| **ВАШ** (бали)<br>*(U-критерій Манна-Уітні)* | Т0 | 6,2 ± 0,3 | 6,0 ± 0,3 | **p < 0,05** |
| | Т1 | 3,0 ± 0,3* | 1,0 ± 0,3* | |

| **Показник** | **Етап** | **Контрольна група (n=5)** | **Основна група (n=5)** | **Достовірність відмінностей між групами (Т1)** |
|---|---|---|---|---|
| **Активне згинання** (°)<br><br>*(t-критерій Стьюдента)* | Т0<br><br>Т1 | 64,0 ± 1,4<br><br>83,8 ± 1,3* | 63,8 ± 2,3<br><br>109,8 ± 2,0* | **p < 0,05** |
| **ММТ** (бали)<br><br>*(U-критерій Манна-Уітні)* | Т0<br><br>Т1 | 3,4 ± 0,2<br><br>4,2 ± 0,2* | 3,4 ± 0,2<br><br>5,0 ± 0,0* | **p < 0,05** |
| **10-MWT** (м/с)<br><br>*(t-критерій Стьюдента)* | Т0<br><br>Т1 | 0,55 ± 0,02<br><br>0,74 ± 0,02* | 0,56 ± 0,02<br><br>1,01 ± 0,03* | **p < 0,05** |

| **Показник** | **Етап** | **Контрольна група (n=5)** | **Основна група (n=5)** | **Достовірність відмінностей між групами (Т1)** |
|---|---|---|---|---|
| **KOOS JR** (бали) | Т0 | 52,3 ± 1,1 | 52,7 ± 0,9 | |
| *(t-критерій Стьюдента)* | Т1 | 65,7 ± 0,8* | 81,6 ± 1,5* | **p < 0,05** |

*Примітка: * — достовірність відмінностей порівняно з етапом Т0 всередині групи (p < 0,05).*

**Аналіз кількісних параметричних даних**

Найбільш показовим критерієм усунення розгинальної контрактури виступала гоніометрія активного згинання колінного суглоба. Застосування t-критерію Стьюдента підтвердило статистично достовірну перевагу основної групи на етапі Т1 (p < 0,05). В основній групі середня амплітуда зросла до **109,8 ± 2,0°**, що дозволило абсолютно всім пацієнтам упевнено подолати важливий функціональний бар'єр у 100°. У контрольній групі фінальний показник був значно меншим і склав **83,8 ± 1,3°**.

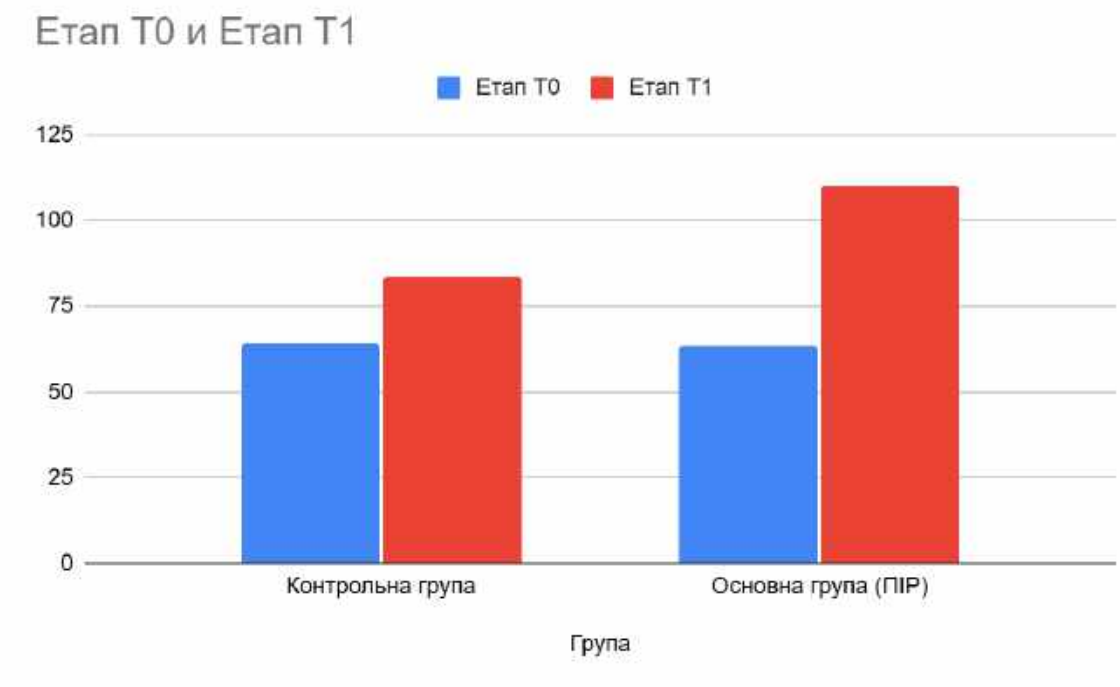



Рисунок 3.1 – Динаміка показників амплітуди активного згинання колінного суглоба у пацієнтів досліджуваних груп

Математично доведено, що традиційне пасивне розтягнення, яке застосовувалося у контрольній групі, є недостатнім для розширення амплітуди рухів у післягострому періоді, оскільки воно часто провокує міотатичний рефлекс (захисне скорочення м'яза у відповідь на його розтяг). Натомість фаза дозованого ізометричного напруження під час процедури ПІР запускає нейрофізіологічний механізм аутогенного гальмування через активацію сухожильних рецепторів Гольджі, що забезпечує глибоке розслаблення м'яза без болю та опору (Рис. 3.1).

Аналіз якості життя за спеціалізованою шкалою KOOS JR виявив високодостовірне ($p < 0,05$) переважання показників основної групи (**81,6 ± 1,5 балів**) над контрольною (**65,7 ± 0,8 балів**). Це свідчить про те, що пацієнти, які отримували сеанси ПІР, значно вище оцінювали свою побутову незалежність, легкість при вставанні зі стільця та загальний психоемоційний комфорт.

Окрему увагу слід приділити швидкості ходьби за тестом 10-MWT. Після

вирівнювання стартової однорідності груп (0,55 ± 0,02 м/с проти 0,56 ± 0,02 м/с) на фінальному етапі Т1 було зафіксовано статистично значущу міжгрупову різницю ($p < 0,05$). В основній групі середня швидкість пересування досягла **1,01 ± 0,03 м/с**, тоді як у контрольній — зупинилася на позначці **0,74 ± 0,02 м/с**. Повне усунення розгинальної контрактури та відновлення фізіологічного згинання коліна понад 100^\circ дозволило пацієнтам основної групи нормалізувати біомеханічний цикл кроку (зокрема, фазу переносу кінцівки), що безпосередньо трансформувалося у значне прискорення ходьби та повернення повної соціальної мобільності поза межами лікувального закладу.

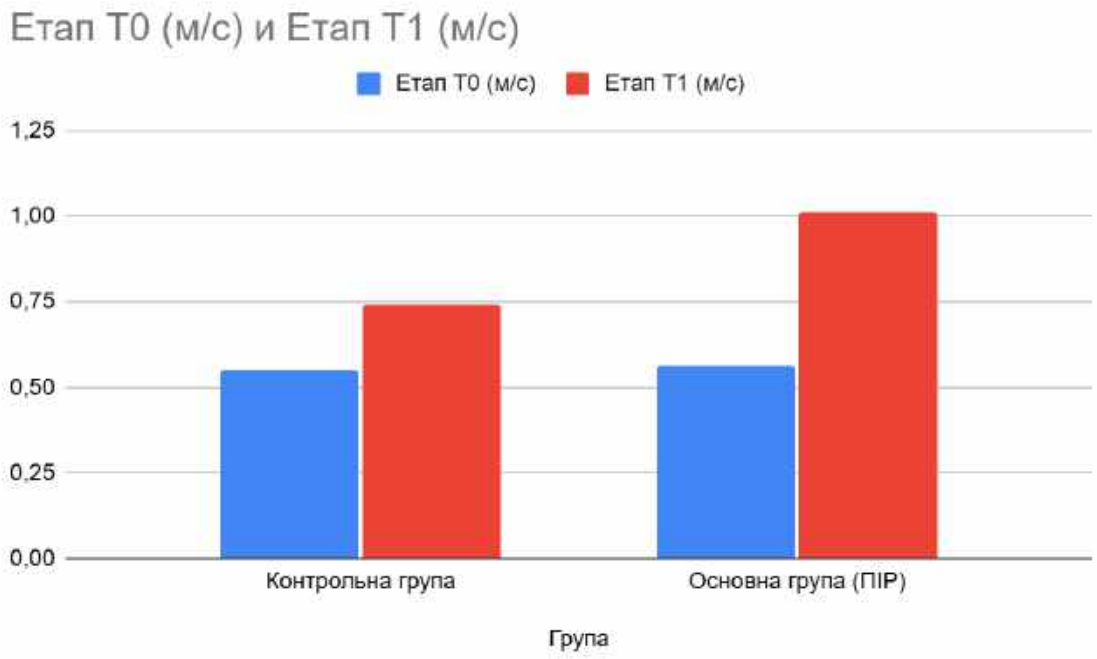



Рисунок 3.2 – Порівняльна характеристика швидкості ходьби пацієнтів за тестом 10-MWT на етапах Т0 та Т1.

**Аналіз порядкових непараметричних даних**

Для оцінки інтенсивності больового синдрому (ВАШ) та мануального м'язового тестування (ММТ) використовувався непараметричний U-критерій

Манна-Уітні. Зниження больового синдрому в основній групі до **1,0 ± 0,3 бала** було статистично достовірно ($p < 0,05$) вищим за показники контрольної групи, де рівень залишкового болю при навантаженнях залишався відчутним — **3,0 ± 0,3 балів** (Рис. 3.3). Такий стійкий анальгезуючий ефект ПІР пояснюється рефлекторною релаксацією квадрицепса, що призводить до зменшення внутрішньосуглобового тиску та зниження подразнення механо- і ноцицепторів капсули суглоба.

Рисунок 3.3 – Тенденція зниження інтенсивності больового синдрому за шкалою ВАШ у процесі фізичної терапії.

Стосовно відновлення нейромоторного контролю, основна група продемонструвала абсолютне усунення артрогенного м'язового гальмування. Сила чотириголового м'яза стегна досягла максимальних **5,0 ± 0,0 балів у 100% пацієнтів** основної групи. Це є статистично значущим результатом порівняно з контрольною групою, де показник ММТ склав **4,2 ± 0,2 бала** (Рис 3.4). Усунення больового синдрому за допомогою ПІР «розблокувало» вольовий контроль над

альфа-мотонейронами передньої групи м'язів стегна, дозволивши пацієнтам ефективно нарощувати силу квадрицепса під час виконання активних вправ.

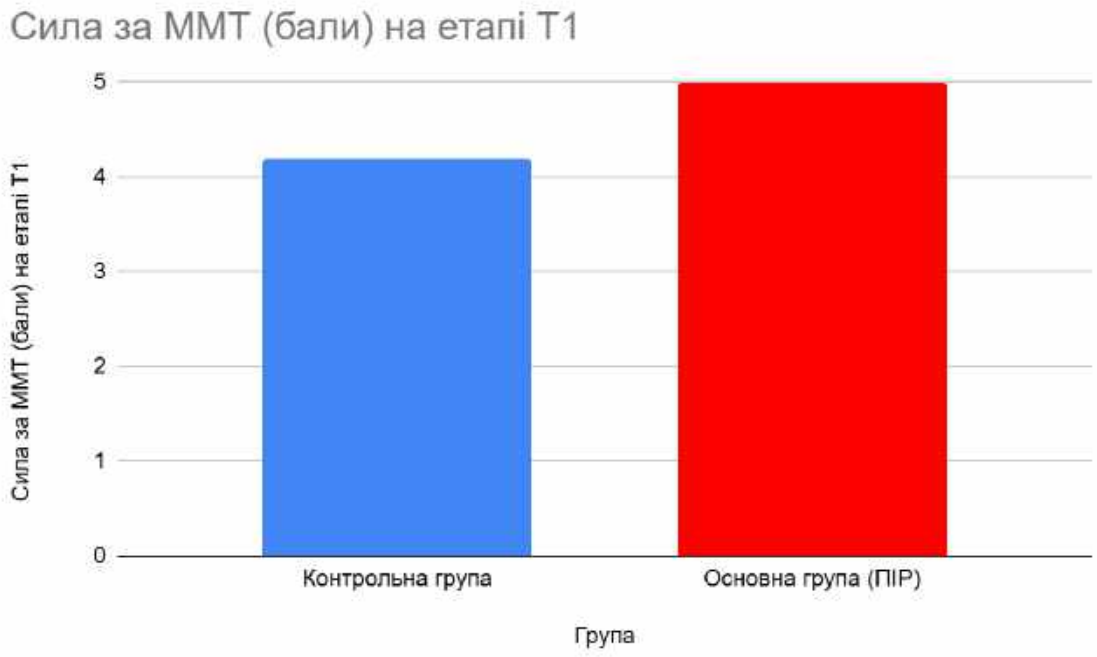



Рисунок 3.4 – Показники відновлення сили чотириголового м'яза стегна за критерієм ММТ наприкінці дослідження.

**Узагальнення**

Комплексне застосування наведених статистичних методів забезпечило максимальну точність та об'єктивність інтерпретації результатів експерименту. Математичні розрахунки беззаперечно доводять: інтеграція ПІР не просто механічно розширює амплітуду згинання на кушетці, а чинить системний вплив на рецепторний та нервово-м'язовий апарат пацієнта. Це призводить до стійкої рефлекторної релаксації, достовірного зниження ноцицептивної активності, відновлення сили розгиначів та повноцінного повернення пацієнта до активного життя. Сформована доказова база ($p < 0,05$ за абсолютно всіма досліджуваними параметрами на етапі Т1) повністю підтверджує доцільність використання

постізометричної релаксації як методу вибору для подолання розгинальних контрактур у післягострому періоді після тотальної артропластики колінного суглоба.

# ВИСНОВКИ

У результаті проведеного теоретичного аналізу та практичного дослідження ефективності застосування постізометричної релаксації у фізичній терапії пацієнтів з розгинальною контрактурою після тотального ендопротезування колінного суглоба (ТКА) вирішено всі поставлені завдання та зроблено наступні висновки:

1. **Теоретично обґрунтовано патогенетичну природу функціональних обмежень.** Встановлено, що розгинальна контрактура у післягострому періоді після ТКА має переважно міогенний характер, зумовлений захисним гіпертонусом чотириголового м'яза стегна у відповідь на оперативну травму та біль. Аналіз наукової літератури довів, що традиційні протоколи фізичної терапії, які базуються виключно на терапевтичних вправах та механічному пасивному розтягненні, часто виявляються недостатньо ефективними. Звичайний пасивний вплив на вкорочений, болючий м'яз провокує міотатичний рефлекс, посилюючи ноцицептивну активність та рефлекторний м'язовий спазм, що суттєво уповільнює рухове відновлення.
2. **Визначено вихідний клінічний статус пацієнтів та підтверджено однорідність вибірки.** Первинне обстеження на 4-му тижні після операції (етап Т0) зафіксувало виражений функціональний дефіцит у всіх учасників дослідження. Математичний аналіз вихідних даних підтвердив повну статистичну гомогенність (однорідність) груп ($p > 0,05$). Клінічна картина характеризувалася значним обмеженням амплітуди активного згинання колінного суглоба (64,0 ± 1,4 у контрольній та 63,8 ± 2,3^\circ в основній групі), наявністю стійкого больового синдрому (6,2 ± 0,3 та 6,0 ± 0,3 балів за ВАШ відповідно) та проявами артрогенного м’язового гальмування квадрицепса (3,4 ± 0,2 бала за ММТ в обох групах). Це супроводжувалося вкрай низькою

швидкістю ходьби (0,55 ± 0,02 м/с та 0,56 ± 0,02 м/с) та незадовільною суб'єктивною якістю життя (52,3 ± 1,1 та 52,7 ± 0,9 балів за KOOS JR).

3. **Доведено високу ефективність подолання розгинальної контрактури за допомогою технік ПІР.** Наприкінці 8-тижневого курсу реабілітації (етап Т1) між групами зафіксовано статистично достовірну розбіжність ($p < 0,05$). Амплітуда активного згинання в основній групі, де застосовувався нейрофізіологічний підхід, зросла до середнього значення **109,8 ± 2,0**, тоді як у контрольній групі при застосуванні стандартного протоколу розтягнення вона зупинилася на позначці **83,8 ± 1,3**. Досягнення амплітуди майже 110^\circ дозволило 100% пацієнтів основної групи впевнено подолати критичний біомеханічний бар'єр у 100° та повністю відновити здатність до складних локомоцій (безпечний спуск сходами, підйом з низьких поверхонь без додаткової опори).
4. **Підтверджено нейрофізіологічний механізм купірування болю та відновлення сили м'язів.** Статистично доведено, що фаза дозованого ізометричного напруження під час ПІР ефективно запускає механізм аутогенного гальмування через сухожильний апарат Гольджі. Це забезпечило високодостовірне ($p < 0,05$) зниження больового синдрому в основній групі до клінічно незначущого рівня (**1,0 ± 0,3 бала за ВАШ**), тоді як у контрольній групі залишковий біль при навантаженнях залишався відчутним (**3,0 ± 0,3 балів**). Глибока рефлекторна релаксація та зникнення болю дозволили усунути артрогенне гальмування — 100% пацієнтів основної групи відновили силу квадрицепса до максимальних **5,0 ± 0,0 балів за ММТ**, що суттєво вище за результат контрольної групи (**4,2 ± 0,2 бала**).
5. **Встановлено системний позитивний вплив розробленої програми на мобільність та якість життя пацієнтів.** Якісне покращення локальних параметрів оперованого суглоба призвело до повної перебудови стереотипу ходьби пацієнтів основної групи. Фінальна комфортна швидкість пересування в

ОГ досягла **1,01 ± 0,03 м/с**, що відповідає критеріям повної незалежної соціальної мобільності поза межами приміщення, тоді як у контрольній групі цей показник склав лише **0,74 ± 0,02 м/с** ($p < 0,05$). Суб'єктивне оцінювання за спеціалізованим опитувальником KOOS JR зафіксувало достовірну перевагу основної групи (**81,6 ± 1,5 балів** проти **65,7 ± 0,8 балів** у контрольній, $p < 0,05$), що підтверджує ліквідацію ранкової скутості та повернення до побутової незалежності.

**Підсумок:** Комплексний статистичний аналіз результатів дозволяє стверджувати, що розроблена програма з інтеграцією постізометричної релаксації є патогенетично обґрунтованим, безпечним та достовірно ефективнішим інструментом порівняно з традиційними методиками ($p < 0,05$ за абсолютно всіма досліджуваними функціональними маркерами). Включення технік ПІР до стандартизованих протоколів фізичної терапії післягострого періоду після тотального ендопротезування колінного суглоба рекомендується як метод першого вибору для швидкого функціонального відновлення та підвищення якості життя пацієнтів у масштабах галузі.

# ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі отриманих результатів теоретичного аналізу та проведеного практичного дослідження розроблено наступні рекомендації для фахівців з фізичної терапії, лікарів фізичної та реабілітаційної медицини (ФРМ), а також ортопедів-травматологів, які займаються веденням пацієнтів після тотального ендопротезування колінного суглоба (ТКА):

1. Впровадження ПІР як стандарту подолання міогенних контрактур. Рекомендується обов’язкове включення технік постізометричної релаксації (ПІР) для чотириголового м'яза стегна у стандартизовані протоколи фізичної терапії підгострого періоду (з 4-го тижня після операції). ПІР слід застосовувати як метод першого вибору при виявленні розгинальної контрактури міогенного генезу, оскільки традиційне пасивне розтягнення часто є болючим та малоефективним через провокацію захисного міотатичного рефлексу.
2. Дотримання чітких дозувань під час виконання мануальної техніки. Для досягнення максимального ефекту аутогенного гальмування фізичним терапевтам слід суворо дотримуватися фізіологічних параметрів процедури: фаза ізометричного напруження повинна тривати 7–10 секунд із зусиллям не більше 10–20% від максимуму пацієнта. Після фази напруження необхідна пауза для повної релаксації (2–3 секунди), після чого суглоб обережно і виключно безболісно виводиться на новий тканинний бар'єр згинання.
3. Правильне позиціонування ПІР у структурі реабілітаційного заняття. Техніки ПІР доцільно застосовувати на початку основної частини реабілітаційного заняття (після загальної розминки). Глибоке нейрофізіологічне розслаблення та анальгетичний ефект, отримані після сеансу ПІР, створюють оптимальне

біомеханічне "вікно". Це вікно (збільшену амплітуду) необхідно одразу закріплювати активними функціональними вправами, такими як робота на велоергометрі, присідання або навчання спуску сходами.

4. Використання ПІР для подолання когнітивного бар’єру перед рухом та артрогенного гальмування. У пацієнтів із високим рівнем післяопераційного болю (ВАШ > 5 балів) та вираженим страхом руху ПІР слід використовувати як інструмент десенситизації нервової системи. Завдяки відсутності болю під час виконання ізометричної фази, пацієнт відновлює вольовий контроль над квадрицепсом, що сприяє швидшому усуненню артрогенного м'язового гальмування та дозволяє швидше перейти до силових тренувань.
5. Моніторинг ефективності та критерії переходу до наступних етапів. У процесі реабілітації необхідно проводити регулярний моніторинг показників активного згинання (гоніометрія) та рівня болю (ВАШ). Досягнення амплітуди активного згинання понад 100° та зниження болю до 0–1 бала є клінічним орієнтиром для успішного подолання розгинальної контрактури. Після досягнення цих показників акцент програми фізичної терапії має бути зміщений з мануальних технік мобілізації на прогресивні силові тренування закритого та відкритого кінематичного ланцюга для забезпечення стабільності ендопротеза.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ


1. Mikalajūnė K, Pažėrienė A, Žlibinaitė L. Post-Isometric Relaxation versus Self-Stretching for Non-Specific Neck Pain in Working-Age Individuals. Appl Sci. 2024;14(16):7000. doi: 10.3390/app14167000.
2. Węgrzyniak A, Zarzycki A, Głowacka K, et al. Manual Therapy (Postisometric Relaxation and Joint Mobilization) in Knee Pain and Function Experienced by Patients with Rheumatoid Arthritis: A Randomized Clinical Pilot Study. Evid Based Complement Alternat Med. 2020. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32922504/.
3. Sener S. The immediate effects of combined post-isometric relaxation and massage on neck pain in hospital employees: A randomised controlled trial. J Bodyw Mov Ther. 2025. doi: 10.1016/j.jbmt.2025.04.002.
4. Quadriceps femoris muscle voluntary isometric force production and relaxation characteristics before and 6 months after unilateral total knee arthroplasty in women. PubMed. 2006. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17006663/.
5. Muscle Energy Technique. Physiopedia. 2023. Available from: https://www.physio-pedia.com/index.php?title=Muscle_Energy_Technique&oldid=357280.
6. Коляденко ГІ. Анатомія людини. Київ: Либідь; 2001. 384 р.
7. Старушенко ЛІ. Анатомія и фізіологія людини. Київ: Вища шк.; 1992. 205 р.
8. Свиридов ОІ. Анатомія людини. Київ: Вища шк.; 2000. 399 р.

9. Korzh MO, Filipenko BA, Tankut VO. Сучасний стан проблеми ендопротезування суглобів в Україні. Pain, joints, spine. 2012;(1):48-50. doi: 10.22141/2224-1507.1.05.2012.82206.

10. Базилевич АЯ. Сімейна медицина: доступність, безперервність та невідкладність. Ліки України плюс. 2015;(2):30-32.

11. Yavodchak MA, Bakaliuk TH, Stelmakh HO. Реабілітаційні підходи після ендопротезування кульшових суглобів. Медсестринство. 2021;(4):44-46. doi: 10.11603/2411-1597.2020.4.11873.

12. Shimon VM, та ін. Консервативна терапія в комплексі лікування пацієнтів похилого віку після ендопротезування. Trauma. 2014;15(3):80-81. doi: 10.22141/1608-1706.3.15.2014.81629.

13. Filipenko VA, та ін. Ендопротезування кульшового суглоба у хворих з приводу посттравматичного коксартрозу. Klinicheskaia khirurgiia. 2017;(8):67. doi: 10.26779/2522-1396.2017.08.67.

14. Яковенчук МТ, Сухоставець ВО. Лікування коксартозів шляхом тотального ендопротезування [thesis]. Суми: СДУ; 2011. Available from: http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/15202.

15. Бальна оцінка стану колінного суглоба після його тотального ендопротезування. Ukrainian medical journal. 2022;152. doi: 10.32471/umj.1680-3051.152.236389.

16. Нагорна КО. Покази до проведення тотального ендопротезування кульшового суглобу [thesis]. Суми: СДУ; 2015. Available from: http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/42183.

17. Larina T. Соціально-психологічна реабілітація особистості: покрокове набуття життєздатності. Scientific studios on social and political psychology. 2018;(42):45. doi: 10.33120/ssj.vi42(45).199.

18. Бинда ТП, та ін. Доказова медицина і підготовка лікарів-інтернів [thesis]. Суми: СДУ; 2010. Available from: http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/4806.

19. Гонартроз: поширеність та диференційний підхід до ендопротезування. Ukrainian medical journal. 2021;146. doi: 10.32471/umj.1680-3051.146.222998.

20. Алгоритм первинного ендопротезування колінного суглоба у хворих на гонартроз залежно від тяжкості ураження. Ukrainian medical journal. 2023;154(2). doi: 10.32471/umj.1680-3051.154.240684.

21. Костогриз Ю. Клінічні результати ендопротезування колінного суглоба у хворих на ревматоїдний артрит. Advanced discoveries of modern science. 2021. doi: 10.36074/logos-09.04.2021.v2.28.

22. Gerasymenko AS. Ендопротезування кульшових та колінних суглобів у хворих на ревматоїдний артрит при їх одночасному ураженні. Trauma. 2014;15(3):102-107. doi: 10.22141/1608-1706.3.15.2014.81641.

23. Duda BS, Protsenko VV. Особливості ендопротезування колінного суглоба при пухлинах кісток, коли спостерігається дефіцит м'яких тканин. Trauma. 2015;16(6):59-64. doi: 10.22141/1608-1706.6.16.2015.79701.

24. Obada B, Protsenko VV, Solonitsyn YO. Аналіз та строки виникнення ускладнень після операцій ендопротезування колінного суглоба у хворих на пухлини кісток. Trauma. 2022;23(4):24-32. doi: 10.22141/1608-1706.4.23.2022.906.

25. Protsenko VV, Duda BS, Salmanova KM. Результати ендопротезування великих суглобів у хворих з пухлинами кісток та причини ускладнень. Trauma. 2015;16(3):39-44. doi: 10.22141/1608-1706.3.16.2015.80213.

26. Винниченко ЛБ, та ін. Сімейна медицина – профілактична медицина [thesis]. Суми: СДУ; 2010. Available from: http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/4690.

27. Персоніфікована медицина: кому, коли і як?. Ukrainian medical journal. 2024;160(2). doi: 10.32471/umj.1680-3051.160.252617.

28. Bilonozhkin GG. Клінічні результати одновирості кового ендопротезування колінного суглоба при медіальному остеоартрозі. Trauma. 2014;15(3):50-55. doi: 10.22141/1608-1706.3.15.2014.81621.

29. Удосконалення методики алокомпозитного ендопротезування. Clinical oncology. 2021;41(1). doi: 10.32471/clinicaloncology.2663-466x.41-1.27933.

30. Порівняльні результати ендопротезування колінного суглоба у хворих на гонартроз із застосуванням та без застосування джгута. Ukrainian medical journal. 2022;147. doi: 10.32471/umj.1680-3051.147.228648.

31. Fishchenko VO, Saleh OKJ, Karpinska OD. Біомеханічне обґрунтування реабілітаційних заходів після тотального ендопротезування колінного суглоба. Trauma. 2022;23(1):66-71. doi: 10.22141/1608-1706.1.23.2022.884.

32. Tugarov DR, Krynytska IY. Ендопротезування кульшового суглобу: сучасний стан. Медсестринство. 2017;(1). doi: 10.11603/2411-1597.2016.1.7370.

33. Khaled O, Karpinska OD, Moskovko GS. Особливості ходьби хворих з остеоартрозом колінного суглоба до та після ендопротезування. Trauma. 2022;22(6):10-18. doi: 10.22141/1608-1706.6.22.2021.249596.

34. Scientific Article. Available from: https://doi.org/10.64252/he3bk578.

# ДОДАТКИ

*Додаток А*

**Шкала оцінки результатів травми колінного суглоба та остеоартрозу (KOOS JR)** Адаптована українська версія для оцінки функціонального стану після ендопротезування

Інструкція для пацієнта: Будь ласка, дайте відповідь на кожне запитання, відмітивши відповідний варіант. Відповідайте на запитання, враховуючи стан вашого прооперованого колінного суглоба протягом останнього тижня.

| | | | |
|---|---|---|---|
| ПІБ пацієнта | | MRN | |
| Дата | | Уражене коліно (R / L) | |

**I. Скутість**

Наступне запитання стосується скутості (обмеженості рухів) у вашому колінному суглобі.

| Питання | Немає (0) | Легка (1) | Помірна (2) | Виражена (3) | Вкрай виражена (4) |
|---|---|---|---|---|---|
| S1. Скутість у коліні після ранкового пробудження | | | | | |

**II. Біль**

Наступні запитання стосуються болю у колінному суглобі. Наскільки сильний біль ви відчували під час наступних дій:

| Питання | Немає (0) | Легка (1) | Помірна (2) | Виражена (3) | Вкрай виражена (4) |
|---|---|---|---|---|---|
| P1. Скручування / поворот на коліні | | | | | |
| P2. Повне розгинання коліна | | | | | |
| P3. Підйом або спуск сходами | | | | | |
| P4. Стояння у вертикальному положенні | | | | | |

**III. Функція у повсякденному житті**

Наступні запитання стосуються вашої фізичної активності. Які труднощі ви відчували під час виконання наступних дій:

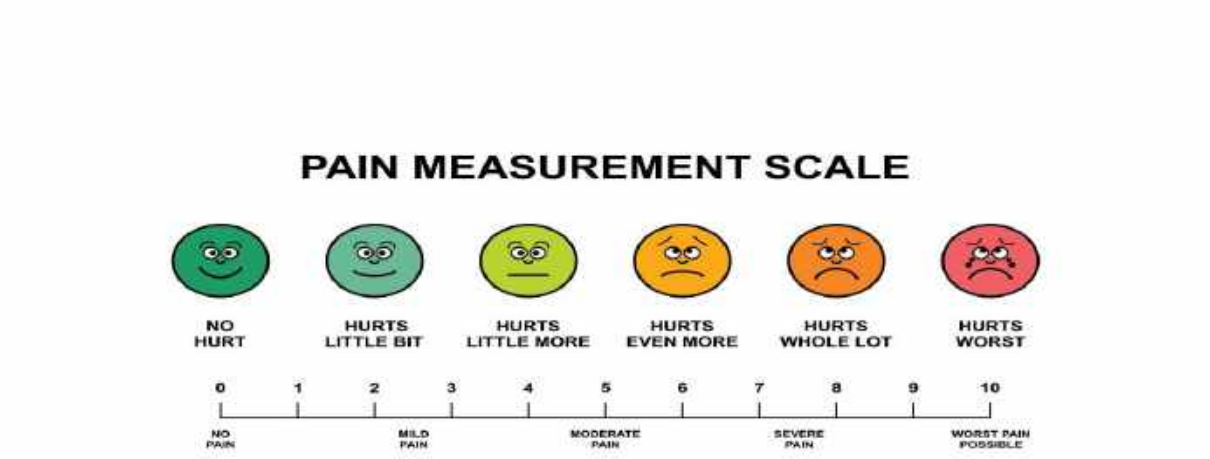
| Питання | Немає (0) | Легка (1) | Помірна (2) | Виражена (3) | Вкрай виражена (4) |
|---|---|---|---|---|---|
| A1. Підйом з | | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| положення сидячи | | | | | |
| A2. Нахил до підлоги / підняття предметів | | | | | |

Примітка для дослідника: Сумарний "сирий" бал (Raw Score) розраховується шляхом додавання балів за всі 7 запитань (від 0 до 28). Далі сирий бал переводиться в Інтервальний бал (Interval Score) від 0 до 100 за допомогою спеціальної номограми KOOS JR, де 100 означає ідеальне здоров'я суглоба.

*Додаток Б*

**Візуально-аналогова шкала болю (ВАШ)** Шкала являє собою лінію довжиною 10 см, де пацієнт відмічає рівень свого болю, де 0 — це повна відсутність болю, а 10 — найсильніший нестерпний біль.




- 0 балів – болю немає.
- 1–3 бали – слабкий біль (не заважає життєдіяльності).
- 4–6 балів – помірний біль (заважає життєдіяльності, потребує знеболення).
- 7–9 балів – сильний біль (значно обмежує рухливість).
- 10 балів – нестерпний біль.

**Шкала мануального м'язового тестування** Використовувалася для оцінки сили чотириголового м'яза стегна в умовах артрогенного м'язового гальмування.

- 0 балів — Відсутність будь-якого видимого або відчутного під час пальпації скорочення м'яза.
- 1 бал — Візуально або пальпаторно визначається ледь помітне скорочення м'язових волокон, проте рух у суглобі відсутній.

- 2 бали — Пацієнт здатний виконати рух у повному обсязі лише за умови усунення дії сили тяжіння.
- 3 бали — Пацієнт здатний виконати рух у повному обсязі, долаючи силу тяжіння кінцівки.
- 4 бали — Пацієнт виконує рух у повному обсязі, долаючи силу тяжіння та помірний зовнішній опір, який чинить рука фізичного терапевта.
- 5 балів — Нормальна сила. Пацієнт виконує рух у повному обсязі, долаючи максимальний опір терапевта.

Додаток В

**Клінічний протокол виконання постізометричної релаксації (ПІР) чотириголового м'яза стегна** *Мета: усунення міогенного спазму квадрицепса та розширення амплітуди активного згинання колінного суглоба при розгинальній контрактурі.*

**Крок 1. Вихідне положення** Пацієнт лежить на животі. Фізичний терапевт однією рукою фіксує таз пацієнта (для уникнення компенсаторних рухів), а іншою рукою повільно і пасивно згинає гомілку пацієнта до відчуття першого пружного бар'єра (моменту появи легкого дискомфорту у пацієнта або відчуття опору м'яза).

Рисунок В.1

**Крок 2. Фаза ізометричного напруження** Терапевт фіксує гомілку в досягнутому положенні. Пацієнт робить повільний глибокий вдих і затримує дихання. Одночасно пацієнт намагається розігнути ногу в колінному суглобі з інтенсивністю 10–20% від максимальної сили. Терапевт чинить жорсткий,

нездоланний опір (руху у суглобі не відбувається — робота ізометрична). Тривалість фази: 7–10 секунд.

**Крок 3. Фаза релаксації** Пацієнт робить повільний видих і повністю розслабляє м'язи ноги. Терапевт зберігає вихідне положення, даючи тканинам час на нейрофізіологічну адаптацію. Тривалість фази: 2–3 секунди.

**Крок 4. Фаза розтягнення (мобілізації)** Після розслаблення м'яза, терапевт повільно і виключно безболісно згинає колінний суглоб до нового тканинного бар'єра. Завдяки спрацюванню механізму аутогенного гальмування через сухожильний апарат Гольджі, амплітуда згинання збільшується без провокації міотатичного рефлексу.

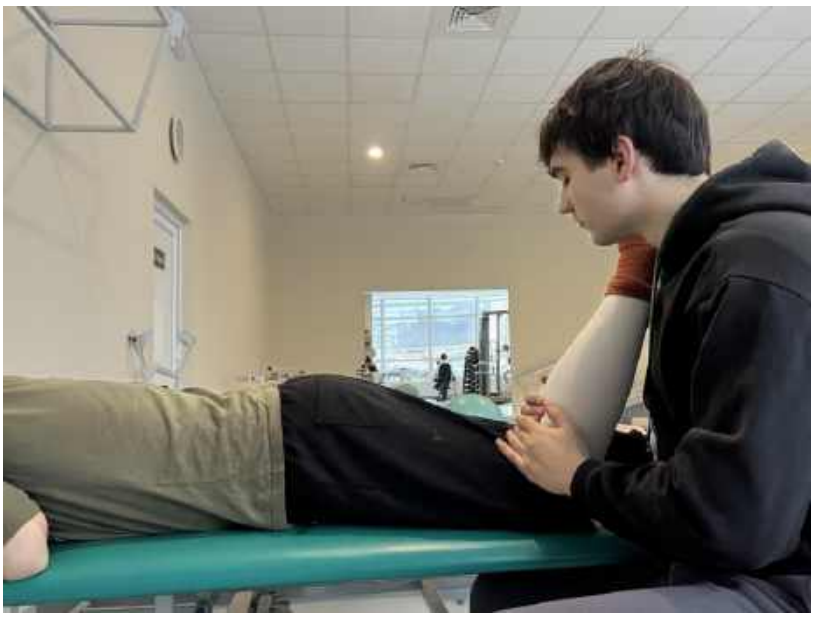


Рисунок В.2

**Крок 5. Повторення** Цикл повторюється 3–5 разів під час одного сеансу, кожен раз починаючи з нового досягнутого бар'єра. Після завершення сеансу ПІР пацієнт повинен негайно виконати серію активних рухів у новій амплітуді для закріплення рухового стереотипу.

*ДОДАТОК Д*

**Комплекс домашніх вправ для фізичної терапії в післягострому періоді після тотальної артропластики колінного суглоба**

**Мета комплексу:** закріплення результатів мануальної терапії (ПІР), підтримка досягнутої амплітуди рухів, профілактика утворення міогенних контрактур та відновлення сили м'язів нижньої кінцівки в домашніх умовах.

**Загальні інструкції для пацієнта:**

1. Виконуйте комплекс **2–3 рази на день**.
2. Всі рухи мають бути плавними. Уникайте ривків та надмірного форсування амплітуди.
3. Біль під час виконання не повинен перевищувати **3–4 бали** за шкалою ВАШ (помірний дискомфорт).

Таблиця Г.1 – Програма самостійних занять для пацієнтів після ТКА

| № | Назва та мета вправи | Вихідне положення та Алгоритм виконання | Дозування та рекомендації |
|---|---|---|---|
| **1** | **Згинання коліна ковзанням п'яти (Heel Slides)**<br><br>*Мета:* Мобілізація суглоба, покращення активного згинання. | **Вихідне положення (В.П.):** Лежачи на спині, ноги випрямлені.<br><br>**Виконання:** Повільно ковзайте п'ятою прооперованої ноги по поверхні ліжка у напрямку до сідниць. Зігніть коліно до відчуття натягу тканин (без гострого болю). | **Кількість:** 2 підходи по 10–12 повторень.<br><br>**Порада:** Для полегшення ковзання вдягніть гладку шкарпетку. |

| № | Назва та мета вправи | Вихідне положення та Алгоритм виконання | Дозування та рекомендації |
|---|---|---|---|
| | | Утримайте положення на 3–5 секунд. Плавно розігніть ногу. | |
| 2 | **Ізометричне напруження квадрицепса (Quad Sets)**<br><br>*Мета:* Подолання артрогенного гальмування, відновлення сили без рухів у суглобі. | **В.П.:** Лежачи на спині або напівсидячи, ноги прямі. Під підколінну ямку покласти тонкий згорнутий рушник.<br><br>**Виконання:** Максимально напружте передню поверхню стегна, намагаючись вдавити підколінну ямку у рушник. Утримуйте напругу, не затримуючи дихання. | **Кількість:** 10 повторень.<br><br>**Дозування:** 5 секунд напруги / 3 секунди повного розслаблення. |
| 3 | **Активне розгинання коліна сидячи (Terminal Knee Extension)**<br><br>*Мета:* Зміцнення розгинального апарату, стабілізація коліна. | **В.П.:** Сидячи на стільці, спина рівна, стегна повністю лежать на сидінні.<br><br>**Виконання:** Повільно випрямляйте прооперовану ногу, піднімаючи стопу вгору до максимального розгинання в коліні. У верхній точці максимально напружте м'язи стегна. Повільно та підконтрольно опустіть ногу на підлогу. | **Кількість:** 2 підходи по 10 повторень.<br><br>**Порада:** Не відривайте задню поверхню стегна від стільця під час розгинання. |

| № | Назва та мета вправи | Вихідне положення та Алгоритм виконання | Дозування та рекомендації |
|---|---|---|---|
| **4** | **Міні-присідання з опорою (Mini-Squats)**<br><br>*Мета:* Тренування закритого кінематичного ланцюга, відновлення патерну ходьби. | **В.П.:** Стоячи, ноги на ширині таза. Двома руками триматися за спинку стільця. Вага тіла рівномірно на обох ногах.<br><br>**Виконання:** Злегка відведіть таз назад і плавно присядьте (згинаючи коліна лише на 45–60°). Утримайте позу 2 секунди. За рахунок м'язів стегон поверніться у вертикальне положення. | **Кількість:** 2 підходи по 10 повторень.<br><br>**Порада:** Слідкуйте, щоб коліна не виходили за лінію пальців ніг. |

*Додаток Е*

**Форма інформованої згоди пацієнта на участь у дослідженні**

Я,

_____,

*(ПІБ пацієнта)* підтверджую свою згоду на участь у дослідженні на тему «Фізична реабілітація пацієнтів з ендопротезуванням колінного суглоба в післягострому періоді», яке проводиться магістрантом Чеботарьовим Артуром Вячеславовичем під керівництвом Василенка Є. О. (Дніпровський державний медичний університет).

**Я поінформований(а) про те, що:**

1. Метою дослідження є вивчення ефективності спеціалізованих мануальних технік (постізометричної релаксації) для відновлення рухливості мого колінного суглоба.
2. Реабілітаційна програма є безпечною, відповідає сучасним стандартам фізичної терапії та не передбачає медикаментозних втручань з боку дослідника.
3. Моя участь у дослідженні включає проходження первинного та повторного тестування (вимірювання кута згинання коліна, оцінка сили м'язів, швидкості ходьби, заповнення анкет).
4. Усі мої особисті дані, результати вимірювань та стан здоров’я є суворо конфіденційними. У тексті магістерської роботи мої дані будуть використані виключно в узагальненому (статистичному) вигляді під анонімним кодом.
5. Я маю право відмовитися від участі в дослідженні на будь-якому етапі без жодних негативних наслідків для мого подальшого лікування.

Я мав(ла) можливість поставити всі запитання щодо цілей та методів дослідження і отримав(ла) на них вичерпні відповіді.

Дата: «___» _____ 2026 р.

Підпис пацієнта: _____

Підпис дослідника: _____ (Чеботарьов А. В.)

Додаток Ж

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач відділення реабілітації та відновного лікування
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «МЕДИЦИНСЬКІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»
Дар'я Нощенко
«18» 05 2026 р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**

1 Пропонується: програма фізичної терапії для пацієнтів у післягострому періоді після тотального ендопротезування колінного суглоба, що базується на застосуванні технік постізометричної релаксації (ПІР) для чотириголового м'яза стегна з метою ліквідації розгинальної контрактури та подолання артрогенного м'язового гальмування.

2 Установа, що запропонувала впровадження: Дніпровський державний медичний університет, кафедра фізичної реабілітації, спортивної медицини та валеології, вул. В. Вернадського, 9, Дніпро, 49044, Україна.

3 Місце впровадження: заклад ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «МЕДИЦИНСЬКІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ» вул. Слобожанський проспект 109 А, м. Дніпро, 49074

4 Строки впровадження: з 02.06.2025 по 27.03.2026.

5 Загальна кількість спостережень: 10 осіб.

6 Ефективність впровадження: застосування розробленої програми фізичної терапії з інтеграцією технік ПІР сприяє безпечному та достовірному збільшенню амплітуди активного згинання колінного суглоба, швидкому купіруванню больового синдрому, відновленню м'язової сили розгинального апарату, а також суттєвому покращенню швидкості ходьби, соціальної мобільності та загальної якості життя пацієнтів після тотального ендопротезування колінного суглоба.

7 Зауваження, пропозиції: немає.

8 Відповідальний за впровадження:

Завідувач відділення _____ Д. А. Нощенко

«18» 05 2026 р.

Додаток К

# ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОСТІЗОМЕТРИЧНОЇ РЕЛАКСАЦІЇ У ФІЗИЧНІЙ ТЕРАПІЇ ПАЦІЄНТІВ ІЗ РОЗГИНАЛЬНОЮ КОНТРАКТУРОЮ ПІСЛЯ ЕНДОПРОТЕЗУВАННЯ КОЛІННОГО СУГЛОБА

**Чеботарьов Артур Вячеславович**

магістрант спеціальності 227 «Терапія та реабілітація»

**Василенко Євген Олександрович**

науковий керівник викладач кафедри спортивної медицини та валеології Дніпровського державного медичного університету

м. Дніпро, Україна

oldcheba@gmail.com

**Вступ. / Introductions.** Тотальне ендопротезування колінного суглоба (ТКА) є ефективним методом лікування гонартрозу, проте в післягострому періоді часто ускладнюється розвитком розгинальної контрактури та артрогенним м'язовим гальмуванням чотириголового м'яза стегна. Традиційне форсоване пасивне розтягнення ригідного квадрицепса часто провокує захисний міотатичний рефлекс, посилює спазм і ноцицепцію. Застосування постізометричної релаксації (ПІР) розглядається як патофізіологічно обґрунтована альтернатива, що базується на феномені аутогенного гальмування, однак її клінічна ефективність у цій когорті пацієнтів потребує об'єктивізації.

**Мета роботи. / Aim.** Довести ефективність включення технік постізометричної релаксації чотириголового м'яза стегна до програми фізичної терапії для подолання розгинальної контрактури, зменшення болю та відновлення мобільності пацієнтів у післягострому періоді після ТКА.

**Матеріали та методи. / Materials and methods.** Проведено рандомізоване дослідження за участю 10 пацієнтів (55–75 років) на амбулаторному етапі (4-й

тиждень після ТКА) з наявністю розгинальної контрактури. Пацієнтів розподілено на дві групи: контрольна (КГ, n=5) отримувала стандартну програму (активна кінезіотерапія, механічний стретчинг); основна група (ОГ, n=5) додатково отримувала сеанси ПІР, спрямовані на розслаблення квадрицепса. Курс тривав 8 тижнів. Оцінювали: інтенсивність болю за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ), амплітуду активного згинання (гоніометрія), силу м'язів (ММТ), швидкість ходьби (тест 10-MWT) та якість життя (KOOS JR) до (Т0) та після (Т1) втручання. Статистичний аналіз виконано за допомогою t-критерію Стьюдента та U-критерію Манна-Уітні ($p<0,05$).

**Результати та обговорення. / Results and discussion.** На етапі Т0 групи були статистично однорідними. Після 8 тижнів (Т1) в ОГ зафіксовано достовірно кращі результати ($p<0,05$) за всіма показниками. Амплітуда активного згинання в ОГ стрімко зросла з 63,8±2,3° до 109,8±2,0°, що дозволило пацієнтам подолати критичний функціональний бар'єр у 100°. У КГ приріст був значно меншим – з 64,0±1,4° до 83,8±1,3°. Рівень болю за ВАШ в ОГ знизився до клінічного мінімуму (1,0±0,3 бала) порівняно з 3,0±0,3 бала у КГ. Рефлекторне розслаблення під час ПІР дозволило усунути артрогенне гальмування: сила квадрицепса в ОГ досягла абсолютних 5,0±0,0 балів за ММТ (у КГ – 4,2±0,2). Відновлення біомеханіки суглоба призвело до нормалізації швидкості ходьби в ОГ до рівня соціальної мобільності (1,01±0,03 м/с проти 0,74±0,02 м/с у КГ). Суб'єктивна оцінка якості життя за KOOS JR також підтвердила перевагу ПІР: 81,6±1,5 бала в ОГ проти 65,7±0,8 бала у КГ.

**Висновки. / Conclusions.** Інтеграція постізометричної релаксації до протоколу фізичної терапії у післягострому періоді після ТКА є патогенетично обґрунтованим і статистично достовірно ефективнішим ($p<0,05$) інструментом порівняно з традиційним пасивним розтягненням. Застосування ПІР забезпечує безпечне подолання розгинальної контрактури, швидке відновлення сили чотириголового

м'яза стегна та повернення пацієнтам локомоторної незалежності. Дана методика рекомендована як метод першого вибору у практиці фізичних терапевтів.