

ОСТЕОІНТЕГРАТИВНЕ ПРОТЕЗУВАННЯ ЯК ВИКЛИК ДЛЯ ФІЗИЧНОЇ ТЕРАПІЇ: ВІД ВІДНОВЛЕННЯ ОПОРОЗДАТНОСТІ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ РУХОВОЇ ФУНКЦІЇ

Данильченко С.І.¹, Морозенко Д.В.²

¹Херсонський державний університет, Херсон, Україна

²ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків, Україна

Ключові слова: *остеоінтеграція, дозування навантаження, протокол реабілітації, хода, ускладнення.*

Вступ. Ампутація нижньої кінцівки є складним медико-соціальним станом, що супроводжується порушенням опорної та локомоторної функцій, зміною розподілу навантаження, постурального контролю й рухових стратегій. Успішність відновлення визначається не лише технічними характеристиками протеза, а й здатністю людини інтегрувати його у власну систему рухів. Тому фізична терапія є невід'ємним компонентом комплексної допомоги, спрямованим на оптимізацію рухових можливостей, працездатності та якості життя.

Традиційне протезування ґрунтується на приймальній гільзі, яка забезпечує механічний зв'язок між куксою та протезом. Попри технологічне вдосконалення, гільзові системи можуть спричиняти дискомфорт, локальний тиск, подразнення шкіри, нестабільність фіксації та труднощі при тривалому користуванні, що обмежує переносимість навантажень і повсякденну активність. Вираженість цих проблем залежить від особливостей кукси, стану м'яких тканин, конструкції протеза та індивідуальних характеристик користувача [1, 2].

Остеоінтегративне протезування (ОІ) передбачає безпосереднє з'єднання протеза з опорно-руховим апаратом через імплант, інтегрований у кісткову тканину. Транскутанний компонент формує прямий механічний зв'язок між скелетом і зовнішньою протезною системою, усуваючи постійний контакт гільзи з м'якими тканинами кукси та створюючи інші умови передачі навантаження [1, 2]. Останніми роками ОІ перетворилося з експериментального напрямку на клінічний варіант протезування для окремих категорій пацієнтів.

Водночас безпосередня передача сил на кістку висуває підвищені вимоги до поступового відновлення опороздатності, контролю навантажень і моніторингу стану імпланта та прилеглих тканин. Остеоінтеграція не забезпечує автоматичного відновлення фізіологічної

функції кінцівки, а формує специфічний клінічний контекст, у якому результат значною мірою залежить від післяопераційного ведення та фізичної терапії [2, 3]. Реабілітація має враховувати загоснення тканин, біологічну адаптацію кістки, відновлення м'язової сили, постурального контролю та координації. Особливого значення набуває поступове збільшення осьового навантаження, оскільки його передчасне підвищення може збільшувати ризик ускладнень, а надмірно обережна тактика – затримувати функціональне відновлення. Сучасні протоколи передбачають поетапний перехід від післяопераційного відновлення до контрольованого навантаження на імплант і формування навичок ходьби, однак ефективність протоколів, варіабельність результатів та довгострокові наслідки ОІ залишаються недостатньо вивченими [2, 4].

З позицій фізичної терапії принципово важливо розмежовувати технічний успіх остеоінтеграції та повноцінне функціональне відновлення. Стабільне з'єднання протеза з кісткою й незалежне пересування не гарантують оптимальної біомеханіки ходьби, достатньої витривалості чи здатності виконувати складні рухові завдання. Обмеження можуть зберігатися під час ходьби нерівною поверхнею, подолання сходів, зміни швидкості руху, перенесення вантажів або виконання професійних завдань. Тому реабілітація має бути спрямована не лише на досягнення незалежної ходьби, а й на формування ефективних, безпечних та адаптивних рухових стратегій відповідно до індивідуальних потреб людини [1, 2].

Рішення щодо збільшення навантаження, ускладнення рухових завдань і розширення активності доцільно приймати з урахуванням клінічного стану, переносимості навантажень, результатів функціонального оцінювання та особливостей взаємодії з протезом. Це потребує від фізичного терапевта розуміння не лише принципів відновлення сили, рівноваги й ходьби, а й біомеханіки остеоінтеграції, можливих ускладнень та безпечного дозування навантаження.

Таким чином, ОІ розширює можливості відновлення опороздатності та мобільності після ампутації нижньої кінцівки, водночас формуючи специфічні завдання для фізичної терапії. Актуальними залишаються вдосконалення дозування навантаження, оптимізація рухових стратегій, розширення критеріїв функціонального відновлення та підвищення безпеки реабілітації.

Метою цієї роботи є аналіз ключових викликів, які остеоінтегративне протезування створює для фізичної терапії, а також визначення перспективних напрямів оптимізації опороздатності,

рухової функції та функціональної незалежності осіб після ампутації нижніх кінцівок на основі сучасних наукових даних.

Матеріали та методи. Роботу виконано у форматі нарративного огляду літератури, спрямованого на аналіз сучасних підходів до фізичної терапії осіб після osteointegrative протезування нижніх кінцівок. Інформаційну основу становили наукові публікації, зокрема оригінальні клінічні дослідження, систематичні та оглядові праці, а також протоколи післяопераційної реабілітації, присвячені відновленню опороздатності, дозуванню фізичного навантаження, формуванню рухових навичок, оптимізації ходьби та профілактиці ускладнень. Аналіз наукових даних здійснювали за такими напрямками: етапність відновлення після хірургічного втручання, прогресивне навантаження на імплант, динаміка функціональних показників ходьби, сенсомоторна адаптація та індивідуалізація реабілітаційних програм. Узагальнення результатів ґрунтувалося на критичному аналізі доступних доказів із визначенням актуальних проблем фізичної терапії та перспектив подальших досліджень. Оскільки робота не передбачала збору первинних емпіричних даних, статистичний аналіз та обчислення узагальнених ефектів не проводилися.

Результати. Відновлення опороздатності: протокол, який не прощає помилок. Більшість сучасних протоколів osteointegrative протезування передбачають два хірургічні етапи: імплантацію фіксатора в кісткову тканину та, зазвичай через кілька місяців, встановлення транскутанного компонента (abutment), який з'єднує імплант із зовнішньою протезною системою [1, 2]. Така послідовність визначає структуру реабілітації. Після первинної імплантації основними завданнями є загоєння операційної рани, збереження м'язової сили та рухливості суглобів і запобігання фізичній детренованості; залежно від хірургічної тактики цей період може передбачати обмеження або повне виключення осьового навантаження. Після встановлення транскутанного компонента розпочинається поступове залучення імпланта до перенесення навантаження, відновлення опороздатності та формування навичок взаємодії з протезом. Інтенсивність і тривалість навантажень збільшують з урахуванням стану кісткових і м'яких тканин, стабільності імпланта та індивідуальної переносимості [2, 4]. Отже, двоетапність ОІ зумовлює диференційоване планування фізичної терапії: від збереження фізичного потенціалу пацієнта до відновлення опорної та локомоторної функцій.

Скопінг-огляд 2025 року, який охопив 35 досліджень, показав, що сучасні протоколи загалом дотримуються послідовності цілей від післяопераційного відновлення та поступового збільшення навантаження до незалежної ходьби. Водночас у публікаціях недостатньо представлені фактичні показники досягнення реабілітаційних цілей, індивідуальні терміни функціонального прогресування та труднощі пацієнтів у процесі відновлення [2]. Це свідчить про розбіжність між формалізованою структурою протоколів і обмеженістю емпіричних даних щодо їх практичної ефективності. Тому фізична терапія має ґрунтуватися не лише на визначених часових рамках, а й на регулярній оцінці клінічного стану, реакції на навантаження та готовності пацієнта до переходу на наступний етап.

Дозування навантаження як ключова компетенція фізичного терапевта. Osteoінтеґративне протезування висуває особливі вимоги до дозування фізичного навантаження, оскільки осьова сила передається безпосередньо через імплант у кісткову тканину. Тому фізичний терапевт має контролювати інтенсивність, тривалість і частоту навантажень та послідовно ускладнювати рухові завдання. Надмірно швидке їх збільшення може підвищувати ризик несприятливих реакцій з боку імплантанта й прилеглих тканин, тоді як надмірне обмеження активності затримує відновлення м'язової сили, рухових навичок і фізичної працездатності. Оптимальне дозування передбачає індивідуальний баланс між безпекою та достатнім стимулом для функціональної адаптації.

Клінічне відновлення після ОІ не завжди є лінійним. Gunn та співавтори у 2022 році описали випадок пацієнтки, яка сама була фізичним терапевтом, але протягом перших 18 місяців після втручання мала низку ускладнень, зокрема абсцеси, запальні процеси та ентезопатії, що впливали на темпи функціонального прогресування [3]. Цей випадок демонструє, що навіть структурований протокол не забезпечує однакової траєкторії відновлення, а отже, потребує постійної клінічної адаптації. Фізичний терапевт має своєчасно виявляти несприятливі реакції на навантаження, коригувати програму вправ та за потреби взаємодіяти з іншими фахівцями мультидисциплінарної команди. Таким чином, індивідуалізація є необхідною умовою безпечного й функціонально орієнтованого відновлення.

Преабілітація як недооцінений етап. Попри визнання важливості передопераційної підготовки до osteoінтеґративного протезування, зміст і тривалість преабілітації залишаються недостатньо стандарти-

зованими. Sullivan та співавтори, досліджуючи реабілітацію осіб із трансфеморальною ампутацією та ОІ, наголошували на необхідності комплексного оцінювання фізичного стану, функціональних можливостей і очікувань кандидата [5]. Така оцінка дає змогу визначити індивідуальні цілі, виявити потенційні фактори ризику та сформувати реалістичні очікування щодо тривалості й складності подальшої реабілітації.

Преабілітація може включати зміцнення м'язів залишкового сегмента й тулуба, підтримання рухливості суглобів, тренування рівноваги та загальної витривалості, навчання безпечному пересуванню з допоміжними засобами, а також підготовку до майбутнього збільшення навантаження й самоконтролю під час фізичної активності. Водночас доказові рекомендації щодо оптимального змісту, інтенсивності та тривалості цих втручань залишаються обмеженими [1]. Це визначає потребу в подальших дослідженнях ефективності окремих компонентів передопераційної фізичної терапії та їхнього впливу на безпечність післяопераційного відновлення й досягнення функціональних цілей.

Від опороздатності до ходи: що показують результати

Ретроспективне когортне дослідження Reeves та колег (2025) оцінювало цілеспрямований протокол фізичної терапії у 10 пацієнтів із трансфеморальною ампутацією після остеоінтегративного протезування [1]. Особливістю підходу була орієнтація на конкретні функціональні цілі та використання об'єктивних показників рухової активності для оцінювання динаміки відновлення. Через 6 та 12 місяців після другого хірургічного етапу виявлено статистично значуще покращення за трьома показниками: оцінка за Amputee Mobility Predictor зросла з 37,9 до 38,9 бала ($p=0,003$), дистанція у 6-хвилинному тесті ходьби – з 225,3 до 264,0 м ($p=0,02$), а час 10-метрового тесту швидкої ходьби скоротився з 11,9 до 9,3 с ($p=0,03$). Це свідчить про покращення функціональної мобільності, витривалості та швидкості пересування. Водночас у 10-метровому тесті ходьби у звичайному темпі статистично значущої динаміки не виявлено (19,5 проти 12,1 с; $p=0,20$), попри чисельно суттєве скорочення часу [1]. З огляду на малий обсяг вибірки та можливу індивідуальну варіабельність результати потребують обережної інтерпретації й не можуть розглядатися як доказ формування фізіологічного або комфортного патерну ходьби.

З позицій фізичної терапії ці дані підкреслюють необхідність комплексного оцінювання рухової функції. Покращення швидкості та

витривалості не відображає повною мірою симетричність, енергоефективність, стабільність, плавність і адаптивність ходьби, а результати стандартизованих тестів не завжди характеризують реальну фізичну активність поза реабілітаційним середовищем. Тому доцільно поєднувати функціональні тести з оцінюванням якості рухів, переносимості навантаження та здатності виконувати завдання, значущі для повсякденного життя.

Прогалина між «незалежною ходою» та якістю життя. Досягнення незалежної ходьби традиційно вважається одним із ключових результатів реабілітації після ампутації нижньої кінцівки. Проте в контексті остеоінтегративного протезування цей показник не має бути кінцевою межею функціонального відновлення. Скопінг-огляд 2025 року, який охопив 35 досліджень, засвідчив недостатнє висвітлення функціональних можливостей пацієнтів за межами самостійного пересування [2]. Незалежна ходьба відображає базову мобільність, але не характеризує витривалість, здатність долати перешкоди, змінювати швидкість і напрямок руху, пересуватися нерівною поверхнею чи виконувати складні побутові та професійні завдання.

Для фізичного терапевта це означає перехід від вузького розуміння функціонального успіху як здатності ходити до комплексної оцінки рухової спроможності та участі людини в повсякденному житті. Після досягнення безпечної ходьби реабілітація має поступово включати розвиток динамічної рівноваги, координації, швидко-силових якостей, витривалості та адаптації рухів до різних умов середовища. Важливими є функціональні завдання, зокрема подолання сходів і нерівних поверхонь, зміна напрямку руху, підйом із підлоги та перенесення предметів.

Водночас функціональна оптимізація повинна відповідати індивідуальним потребам і цілям людини: для одного пацієнта пріоритетом є самостійність у побуті, для іншого – повернення до професійної діяльності, спорту або фізично складних завдань. Тому результати фізичної терапії доцільно оцінювати не лише за показниками мобільності, а й за рівнем фізичної активності, суб'єктивним сприйняттям функціональних можливостей, задоволеністю протезом та якістю життя.

Отже, сучасна реабілітація після остеоінтегративного протезування має бути спрямована від відновлення базової мобільності до розширення функціональних можливостей та участі людини в побутовому, соціальному й професійному середовищі. Недостатня вивченість цих аспектів, на яку вказує скопінг-огляд 2025 року,

підкреслює потребу в подальших дослідженнях ефективності реабілітаційних втручань за межами базових показників мобільності [2].

Специфічні виклики для фізичної терапії

Робота з м'якими тканинами: ризик, який не зникає. Транскутанний компонент імпланта створює постійне відкрите сполучення між зовнішнім середовищем і кісткою. Це означає, що інфекції м'яких тканин навколо abutment є одним із найчастіших ускладнень [3]. Фізичний терапевт має бути навчений розпізнавати ранні ознаки запалення та адаптувати навантаження відповідно. Крім того, стан м'яких тканин (рубці, спайки, зниження еластичності) може обмежувати обсяг рухів у кульшовому суглобі та впливати на ходу.

Сенсорна депривація та пропріоцепція. Хоча ОІ забезпечує осьове навантаження через кістку (що саме по собі дає певний пропріоцептивний сигнал), пацієнт все одно втрачає шкірно-м'язову аферентацію від кукси, яка була присутня при шахтному протезуванні [3]. Це ставить перед фізичним терапевтом завдання компенсаторного тренування пропріоцепції через інші канали: зорові, вестибулярні, а також через свідоме фокусування на відчуттях від навантаження в імпланті.

Психологічний вимір: «протез як частина мене». Якісне дослідження Lundberg et al. [6] показало, що пацієнти з ОІ часто описують протез як «частину себе», на відміну від шахтного протеза, який сприймається як зовнішній інструмент. Це має практичні наслідки: пацієнт може бути більш мотивованим до реабілітації, але водночас більш вразливим до психологічних наслідків ускладнень (сприйняття імпланта як «чужорідного тіла», страх втрати). Фізичний терапевт має враховувати цей вимір у комунікації та плануванні цілей.

Шляхи оптимізації рухової функції: що можна зробити вже зараз

Цілеспрямованість замість стандартизації. Протокол Reeves та колег демонструє цінність цілеспрямованого підходу: кожне реабілітаційне заняття мало конкретну функціональну мету, а прогрес оцінювався за об'єктивними показниками [1]. Це відрізняється від суто «часового» підходу (наприклад, «6 тижнів – почати ходити»), який може не враховувати індивідуальну варіабельність.

Використання технологій для об'єктивізації. Скопінг-огляд рекомендує впровадження трекерів мобільності для об'єктивного розуміння використання протеза та реальної рухової активності [2]. Це дозволило б фізичному терапевту отримувати дані про те, як пацієнт ходить поза клінікою, і коригувати програму відповідно до реальних потреб, а не лише лабораторних показників.

Тренування за межами «просто ходи». Виходячи з виявлених прогалин, програма реабілітації має включати: тренування на нерівних поверхнях (трава, гравій, сходи) для підготовки до реального середовища; вправи на швидкість та спритність після досягнення базової стабільності; функціональні завдання (підйом з підлоги, перенесення вантажів) для повернення до повсякденної активності

Висновки. Остеоінтегративне протезування створює принципово новий контекст для фізичної терапії. Замість адаптації до шахти пацієнт вчиться довіряти імпланту та дозувати навантаження, яке передається безпосередньо в кістку. Це вимагає від фізичного терапевта не лише технічних навичок, а й глибокого розуміння біомеханіки остеоінтеграції, пильності щодо ускладнень та готовності до індивідуалізації протоколу.

Наявна доказова база підтверджує, що ОІ дозволяє досягти покращень у мобільності, але довгострокові результати, оптимальні протоколи та стратегії подолання ускладнень залишаються недостатньо вивченими. Для фізичної терапії це означає подвійне завдання: застосовувати найкращі наявні практики вже сьогодні та активно долучатися до досліджень, які формуватимуть стандарти завтра.

Література

1. Reeves K, Han S, Cao M, Doherty DB, Haney L, Mintah FK, Vanodia VP. A goal-directed rehabilitation protocol for people with transfemoral amputation receiving osseointegration prostheses. PM R. 2025 Sep;17(9):1026-1033. doi: 10.1002/pmjr.13385. Epub 2025 May 5. PMID: 40323163.
2. Grunfeld M, Reif TJ, Rozbruch SR, Hoellwarth JS. Lower Extremity Osseointegration Postoperative Rehabilitation Protocols: A Scoping Review. Phys Ther. 2025 Jan 8;105(1):pzae139. doi: 10.1093/ptj/pzae139.
3. Gunn R, Langley CB. Transfemoral Osseointegration-a self-case study and physiotherapy assessment. Prosthet Orthot Int. 2022 Apr 1;46(2):187-190. doi: 10.1097/PXR.000000000000055. PMID: 35412525.
4. Vertriest S, Pather S, Sondergeld P, Ramis MA, Frossard L. Rehabilitation programs after the implantation of transfemoral osseointegrated fixations for bone-anchored prostheses: a systematic review protocol. JBI Database System Rev Implement Rep. 2017 Mar;15(3):607-619. doi: 10.1112/JBISRIR-2016-003023. PMID: 28267022.
5. Sullivan J, Uden M, Robinson KP, Sooriakumaran S. Rehabilitation of the trans-femoral amputee with an osseointegrated prosthesis: the United Kingdom experience. Prosthet Orthot Int. 2003 Aug;27(2):114-20. doi: 10.1080/03093640308726667. PMID: 14571941.
6. Lundberg M, Hagberg K, Bullington J. My prosthesis as a part of me: a qualitative analysis of living with an osseointegrated prosthetic limb. Prosthet Orthot Int 2011; 35: 207–214.