

РАМЕЛА | WP3 - Науково обґрунтовані рекомендації та навчальні матеріали щодо хірургічних методик для запобігання розвитку PLP

Дата: **20 вересня 2024**

Версія: 1.0

Автори

Ім'я, прізвище: **Jennifer, Ernst**

Установа: МНН

Адреса електронної пошти: Ernst.Jennifer@mh-hannover.de

Ім'я, прізвище: **Marlene, Arlt**

Установа: МНН

Адреса електронної пошти: Arlt.Marlene@mh-hannover.de

Короткий огляд

Рекомендація 1.1

Хірургічні методики, спрямовані на симптомну неврому, можуть ефективно зменшити
фантомний біль.

Рекомендація 1.2

Якщо PLP та супутній NP виникають, хірургічні втручання слід виконати якомога швидше, щоб уникнути хронізації болю.

Рекомендація 2.1

Раннє розглядання застосування TMR та RPNI як профілактичних заходів допомагає звести до мінімуму ризик розвитку фантомного болю у пацієнтів, яким виконують ампутацію.

Рекомендація 3.1

Дотримуйтеся основних принципів хірургії периферичних нервів під час виконання процедур таргетної м'язової реіннервації (TMR) та регенеративного інтерфейсу периферичного нерва (RPNI), з метою досягнення успішних результатів.

Рекомендація 3.2

Фантомний біль і біль у куксі взаємодіють між собою. Під час ревізійної операції на куксі усувайте інші супутні стани, що спричиняють біль у куксі, зокрема кісткові шпори, ішемію, рубці тощо, щоб підвищити шанси на досягнення полегшення болю.

Рекомендація 3.3

Для успішного виконання TMR рекомендується мати у своєму розпорядженні всебічний набір хірургічних навичок і мікрохірургічне обладнання. Ці навички є необхідними для виконання втручання з точністю та фаховістю.

Рекомендація 3.4

RPNI є прийнятною альтернативою для лікування та профілактики PLP. Він не потребує мікрохірургічного обладнання та вимагає менше операційного часу, ніж TMR. Наразі він не дозволяє міоелектричним протезом керування міоелектричним протезом.

Рекомендація 4.1

Нервові шви слід захищати від тиску, примусового згинання та будь-яких рухів, що чинять надмірне навантаження на мікрошов, протягом трьох тижнів.

Рекомендація 4.2

Тривале динамічне спостереження за пацієнтами після ампутації та ревізійні операції на стійко симптомних кінцівках можуть істотно покращити користування протезом, функцію та якість життя.

Рекомендація 4.3

Кваліфікований підхід мультидисциплінарної команди до тривалого динамічного спостереження за пацієнтами після ампутації є обов'язковим для максимізації результатів.

Рекомендація 4.4

Пацієнта слід забезпечити функціональним протезом якомога швидше після операції.

Рекомендація 5.1

Ампутації після травми слід вести у відкритий спосіб зі збереженням довжини; гільйотинні ампутації жертвують довжиною кукси та життєздатними тканинами. Подальша ревізія та закриття можуть потребувати використання атипових клаптів за можливістю для збереження цінної довжини кукси, функціональних рівнів суглобів та нововведень у межах первинної ампутації для покращення загального результату та зменшення частоти PLP.

Рекомендація 5.2

TMR у поєднанні з досягненнями протезних технологій забезпечує кращі результати, сприйняття протеза та допомагає в досягненні цілей військовослужбовців дійсної служби.

ЗМІСТ

АВТОРИ	1
КОРОТКИЙ ОГЛЯД	2
СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ ТА МЕТА	6
РОЗДІЛ 1: КОРОТКИЙ ВСТУП ДО ФАНТОМНОГО БОЛЮ ТА БОЛЮ, ЗУМОВЛЕНОГО НЕВРОМОЮ, ПІСЛЯ АМПУТАЦІЇ	8
РОЗДІЛ 2: ХІРУРГІЧНІ МЕТОДИКИ ПРОФІЛАКТИКИ ТА ЛІКУВАННЯ ФАНТОМНОГО БОЛЮ	12
РОЗДІЛ 3: ПІСЛЯОПЕРАЦІЙНИЙ ДОГЛЯД	31
РОЗДІЛ 4: МІРКУВАННЯ ЩОДО АМПУТАЦІЙ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ БОЙОВИМИ ДІЯМИ	35
ДОДАТКОВІ ДАНІ	38
I МЕТОДИ	38
II ФІНАНСУВАННЯ	40
III СКОРОЧЕННЯ	40
IV СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	41
V КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ	45
VI ДОДАТОК	46

Сфера застосування та мета

Цілі

Незалежно від причини ампутації може виникати біль, пов'язаний з ампутацією. Цей біль можна поділити на два типи: фантомний біль (PLP) та біль у куксі (RLP). Біль у куксі локалізується в куксі та сприймається як біль через ноцицептори. Біль, зумовлений невромою (NP), є нейропатичним болем і може походити від перетнутих нервів у куксі; його класифікують як RLP. PLP спричиняється периферичними, спінальними та центральними патомеханізмами, що призводять до дезадаптивної кіркової реорганізації та до сприйняття болю або дискомфорту в кінцівці, якої більше немає. Небольові відчуття ампутованої частини тіла називають фантомними відчуттями.¹ Фантомні відчуття, на відміну від фантомного болю, зазвичай не потребують специфічних лікувальних втручань. Однак важливо проводити навчання пацієнтів щодо фантомних відчуттів, щоб сприяти розумінню та усунути потенційні занепокоєння, пов'язані з цим досвідом.

Донедавна бракувало доказів, які б підтверджували ефективність хірургічних методик у лікуванні фантомного болю (PLP).²⁻⁴ Як центральний, так і периферичний біль мають різні базові механізми, вкорінені в нервовій тканині, що потенційно пояснює їхню взаємодію. Було встановлено, що біль у куксі (RLP) може супроводжувати PLP, і кожен тип болю здатний спричиняти або посилювати інший.⁵ У 2018 році літературні огляди Poppler² та Eberlin³ показали, що реконструктивні методики є більш ефективними, ніж абляційні методики, у лікуванні нейропатичного болю (NP).

У нещодавньому рандомізованому контрольованому дослідженні (РКД)⁶ порівнювали стандартну процедуру занурення нерва у м'яз, яку вважали золотим стандартом лікування больової невроми, із таргетною м'язовою реіннервацією (TMR) як реконструктивним підходом. Результати дослідження показали, що TMR ефективно усував як PLP, так і RLP, зокрема NP, що свідчить про його потенційну перевагу над стандартною методикою занурення нерва⁷. Подальші повідомлення та огляди послідовно підтверджували ці результати як для TMR, так і для регенеративного інтерфейсу периферичного нерва (RPNI), другої реконструктивної методики, яка сприяє регенерації змішаних нервів у їхні початкові органи-мішені.^{8,9} Ці нові результати вказують на потенційну ефективність реконструктивних хірургічних методик, зокрема TMR та RPNI, у лікуванні PLP та NP.

З огляду на ці дані, ми хотіли б висвітлити тут таке:

- Діагностичні критерії: біль, зумовлений невромою, порівняно з фантомним болем
- Основні принципи хірургії периферичних нервів
- Етапи хірургічного втручання для реконструктивних методик: таргетна м'язова реіннервація (TMR), таргетна сенсорна реіннервація (TSR),

регенеративний інтерфейс периферичного нерва (RPNI) та

- Післяопераційний догляд
- Додаткові зауваження:
 - Особливі міркування в бойовій хірургії

Сфера лікування/догляду

Хірургічні методики запобігання розвитку фантомного болю при первинній ампутації:

- TMR
- TSR
- RPNI

Хірургічні методики терапевтичного лікування фантомного болю при ревізійних операціях:

- TMR
- TSR
- RPNI

Цільова група

Складні бойові поранення з високим ризиком ампутації та ампутації, пов'язані з бойовими діями.¹⁰

Розділ 1: Короткий вступ до фантомного болю та болю, спричиненого невромною, після ампутації

Передумови

Фантомний біль проявляється як тяжке відчуття в ампутованій кінцівці, тоді як біль у куксі локалізується в куксі.¹ Біль після великої ампутації кінцівки є поширеним явищем: до 79.9% пацієнтів повідомляють про PLP, 67.7% повідомляють про RLP, зокрема NP, а 62.3% пацієнтів повідомляють про біль у спині.¹¹ Біль, зумовлений невромною, походить із нервової тканини кукси, тоді як фантомний біль проявляється периферично, спінально та кортикально.¹

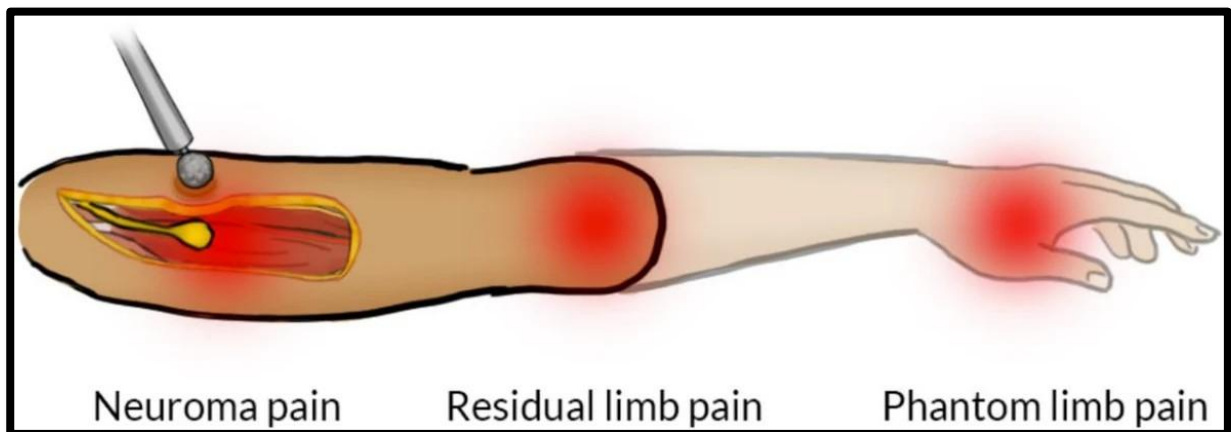


Рисунок 1: Ілюстрація трьох різних типів болю: болю, зумовленого невромною, болю у куксі та фантомного болю (Copyright Pettersen et al., 2023 ¹²)

Вплив фантомного болю та болю, зумовленого невромною, на осіб з ампутаціями є складним і багатовимірним та суттєво позначається на їхній якості життя. Розрізнити ці два типи болю буває складно, оскільки обидва мають відмінні характеристики. У контексті нейропатичного болю ці відчуття мають схожість, що проявляється у вигляді колючого, пульсуючого, стріляючого електричного та пекучого болю.^{1,5}

Біль, спричинений невромною

Периферичні нерви втрачають зв'язок зі своїми органами-мішенями при втраті кінцівки. Після травматичної ампутації нерва поблизу місця ампутації запускається складний процес, що активує здатність нервової клітини до регенерації.¹³ Тоді як валлерівська дегенерація спричиняє розпад і деградацію дистального аксона внаслідок втрати зв'язку з нервовою клітиною, проксимальна дегенерація зазвичай відбувається лише в дуже обмеженому ступені, як правило, до наступного перехвату Ранв'є.¹⁴ Протягом цього процесу кожен окремий аксон знову починає розростатися проксимально у спробі знайти відповідний орган-мішень. Так званий "конус росту", спеціалізована, рухлива структура, з якої виходять численні пальцеподібні відростки, розташована на кінчику аксона, що регенерує. В ідеалі регенерація має відбуватися у напрямку дистального кінця

нерва, і це визначається конусом росту. Проте у разі ампутації дистальний кінець нерва втрачається, тому аксони, що регенерують, зазвичай не знаходять відповідної "мішені". Це спричиняє нервові волокна рости неконтрольовано, що зрештою призводить до розвитку невром. Нейропатичний біль, спричинений невромом, можна пояснити тим, що нервові волокна всередині неї є доведено високочутливими та здатні самотійно генерувати імпульси.¹⁵⁻¹⁷

Можливими симптомами болю, спричиненого невромом, можуть бути алодинія (больове відчуття, викликане подразниками, які зазвичай не спричиняють болю), гіпералгезія (посилене больове відчуття у відповідь на больові подразники) та позитивний симптом Гоффманна-Тінеля (дискомфорт, що виникає при постукуванні по нерву та іррадіює в зону, яку іннервує цей нерв).¹

Діагностичні критерії сформульовано у такий спосіб:

Усі три наведені нижче критерії мають бути виконані:

1. Біль, що має щонайменше три з наведених нижче характеристик: пекучий, ріжучий, стріляючий, електричний, парестезія, оніміння або непереносимість холоду.
2. Симптоми, обмежені певною нейроанатомічною ділянкою.
3. Наявність в анамнезі фактичного або підозрюваного ушкодження нерва.

Крім того, має бути виконаний щонайменше один із наведених нижче критеріїв:

1. Позитивний симптом Тінеля (для шкірних нервів).

Рисунок 2: Діагностичні критерії для симптоматичної невроми (німецька клінічна настанова рівня S3 щодо лікування ушкоджень периферичних нервів¹⁸, описана в розділі 9)

На другому етапі після візуалізації невроми за допомогою ультразвуку слід виконати діагностичну інфільтрацію місцевим анестетиком під ультразвуковим контролем. Позитивним результатом є тимчасове зменшення або усунення болю.¹

Фантомний біль

Точний механізм, що лежить в основі розвитку фантомного болю, досі вивчається і остаточно не встановлений⁵. Дослідження свідчать, що зміни в периферичній та центральній нервових системах можуть сприяти виникненню фантомного болю, тоді як психосоціальні чинники також суттєво впливають на його виникнення та персистування.^{5,19} Біль, що відчувається у фантомній кінцівці, залучає як периферичні, так і центральні компоненти нервової системи (ЦНС), включно з куксою, спинномозковим вузлом заднього корінця, спинним мозком, надспінальними центрами, такими як стовбур головного мозку, таламус, кора та лімбічна система.²⁰

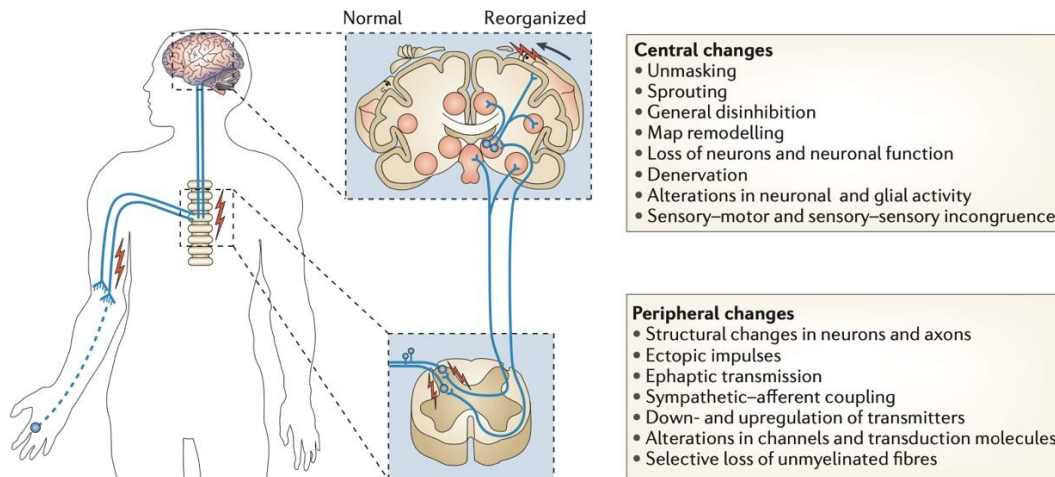


Рисунок 3: Схематичне зображення ділянок, залучених до формування фантомного болю, а також основних периферичних і центральних механізмів зі статті "Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity?" авторства Herta Flor (2006)²⁰ (Copyright Nature Publishing Group, 2006)

З огляду на нові дані важливо розрізняти RLP та PLP, оскільки відбулася потенційна зміна підходу до лікування болю, пов'язаного з ампутацією. Хоча хірургічні втручання колись вважались неефективними в лікуванні PLP, останні дослідження свідчать про протилежне, що підкреслює потребу в подальшому вивченні та клінічному розгляді зв'язку між RLP та PLP.²⁻⁴

Упродовж десятиліть хірургічні втручання з приводу фантомного болю (PLP) та болю, спричиненого невромою, демонстрували обмежену ефективність. Однак останніми роками таргетна м'язова реіннервація (TMR) та регенеративний інтерфейс периферичного нерва (RPNI) постали як перспективні методики для покращення контролю протеза та зменшення болю, пов'язаного з ампутацією, зокрема PLP.^{8,21} Це було підтверджено кількома серіями клінічних випадків та дослідженнями типу «випадок-контроль». Попри зростання інтересу до цих методик, порівняльних досліджень і рандомізованих контрольованих досліджень (РКД) наразі бракує, щоб можна було визначити відносну ефективність кожного підходу.

Огляд літератури

Огляд наявної літератури щодо хірургічних втручань з приводу фантомного болю виявляє незначну кількість рандомізованих контрольованих досліджень: лише одне таке дослідження, опубліковане у 2019 році, автором якого є Dumanian⁶. У цьому дослідженні було проведено оцінку ефектів занурення кінця нерва у м'яз⁷, тобто стандартного підходу, порівняно з інноваційним TMR²² підходом. Оскільки застосування методики TMR потребує додаткових навичок і більшого операційного часу, ретельна оцінка показань до неї та потенційних переваг є необхідною. Крім того, обмежені порівняльні дані підкреслюють потребу у проведенні РКД для підвищення рівня достовірності доказів.²³

Останні дослідження та майбутні напрями

Нещодавній пошук у літературі, зосереджений на дослідженнях, опублікованих після листопада 2021 року, виявив низку різних робіт, зокрема систематичні огляди літератури, проспективні когортні дослідження, ретроспективні когортні дослідження, аналізи медичної документації, обсерваційні дослідження співвідношення витрат і користі, а також дослідження типу «випадок-контроль». Обсерваційні дані свідчать, що TMR та RPNІ зменшують фантомний біль і частоту виникнення болісних невром. Однак для подальшого з'ясування порівняльної ефективності цих методик, конче необхідно проводити рандомізовані дослідження.

Поточні дослідження

У відповідь на потребу в доказах було ініційовано подвійне сліпе РКД¹² (NCT05009394) для порівняння ефективності методик TMR, RPNІ та активного контрольного втручання (висічення невроми та занурення нерва в м'яз) у зменшенні болю у куксі, болю, спричиненого невромою, та фантомного болю. Це дослідження, що охоплює кілька країн, має на меті спостереження за пацієнтами протягом 4 років. Це узгоджується з необхідністю розв'язання проблеми фантомного болю, який уражає значну частку осіб після ампутації великих сегментів кінцівок і суттєво погіршує їхню якість життя. Розрізнення фантомного болю та болю, спричиненого невромою, має вирішальне значення, оскільки обидва типи болю мають унікальні характеристики й потребують індивідуально підібраних втручань.

Розділ 2: Хірургічні методики профілактики та лікування фантомного болю

Передумови

Стислий огляд патофізіологічних механізмів може пояснити потенціал реконструктивних методик на нервах, таких як TMR та RPNI, у профілактиці та лікуванні NP та PLP. На відміну від інших методів, вони надають конкретне призначення перерізанним нервовим закінченням, забезпечуючи чіткий напрямок їхнього росту та потенційно запобігаючи їхній дезорганізації. Обидві стратегії, вочевидь, забезпечують активне ведення перерізаного нерва шляхом відновлення його функції, пропонуючи перспективний підхід до усунення NP і можуть зменшувати ступінь деаферентації та дееферентації.^{9,24,25} Результати функціональних МРТ-досліджень, у яких порівнювали осіб після ампутації, яким було виконано TMR та TSR втручання на куксі, з тими, кому їх не проводили, свідчать про подібність активності первинної рухової та сенсорної кори до такої у здорових осіб. Це вказує на те, що реаферентні втручання можуть потенційно запобігати патологічним кірковим адаптаціям після ампутації або зменшувати їх. Ці дані підкреслюють потенціал таких втручань у сприянні відновленню функції та підвищенні нейропластичності залишкових нервових шляхів.^{17,26}

Принципи таргетної м'язової реіннервації (TMR)

TMR була вперше запропонована Kuiken et al.²⁷ як стратегія керування для покращення функціональності міоелектричних протезів у осіб після ампутації. Принцип таргетної м'язової реіннервації (TMR) полягає у перенаправленні уражених проксимальних кукс нервів до меншої рухової нервової гілки, яка веде до інтактного м'яза. Цей денервований м'яз потім повторно іннервується шляхом первинної коаптації кінець у кінець у точці входу нерва, що дозволяє аксонам, які проростають, увійти в рухову нервову гілку та згодом реіннервувати денервовану м'язову тканину або рухові кінцеві пластинки. Це забезпечує високоселективну реіннервацію окремих ділянок м'яза.^{18,22,28}

Спочатку розроблена для біонічного протезування, ця методика передбачала коаптацію нервів зі сліпими закінченнями до вибраних м'язових гілок з метою збільшення кількості індивідуально керованих моторних сигналів, які використовуються для керування протезом. Побічною перевагою, яку спостерігали, була дуже низька частота формування больових невром і зниження рівня PLP. Подальші дослідження продемонстрували відмінні результати щодо обох видів болю.^{6,29,30} Ефективність методики доведено як для вторинної таргетної м'язової реіннервації (TMR) у лікуванні наявних невром, так і для первинної профілактичної TMR при нещодавніх ампутаціях, що дедалі частіше стає стандартною практикою в клінічних умовах.^{28,31}

Метод таргетної м'язової реіннервації (TMR) призначений не лише для лікування макрокукси; його також можна застосовувати для усунення больових невром

пальців. TMR є вдосконаленим терапевтичним підходом порівняно з ізольованою хірургічною резекцією або простим зануренням нерва в м'яз.⁸

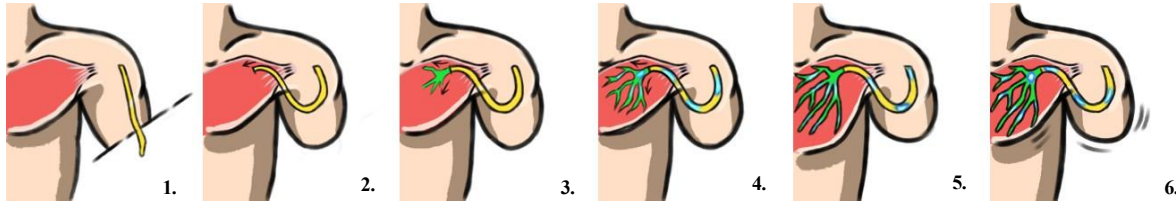


Рисунок 4: Таргетна м'язова реіннервація при ампутації великого сегмента кінцівки: 1. Ідентифікуйте донорський нерв шляхом тупої дисекції та обережно виділіть донорський нерв під збільшенням лупи, за потреби використовуючи мікрохірургічні інструменти. Мобілізуйте донорський нерв настільки, наскільки це необхідно для досягнення реципієнтної ділянки. 2. Ідентифікуйте всі рухові гілки нерва до цільового м'яза шляхом тупої дисекції. Перенесіть донорський нерв до цільового м'яза та коаптуйте дистальний кінець перетятого рухового нерва методом нейрорафії кінець-у-кінець. 3.-6. Це забезпечує нерв на прямую структуру, через яку він вростає в м'яз і реіннервує його. (Copyright: Katharina Kasprzak, MHN)

Хірургічний алгоритм

Стандартизований протокол хірургічного втручання було нещодавно опубліковано, і його стисло викладено нижче.³²

Терміни:

Донорський нерв: нерв із больовою невромою, який має бути перенесений до реципієнтного залишкового або «цільового» нерва.

Реципієнтний залишковий нерв: перетятий сегмент нерва (свіжо підготовлена кукса нерва), який нативно іннервує цільовий м'яз.

Цільовий м'яз: життєздатний м'яз, який іннервується реципієнтним залишковим або «цільовим» руховим нервом у куксі або поблизу неї.

1. Передопераційна підготовка

1. Діагностуйте больову неврому (невроми): для болю, спричиненого невромою, застосовують фізичну стимуляцію у вигляді пальцевого тиску (наприклад, проба Тінеля), щоб викликати біль у ділянці, де підозрюють неврому. Фізичну стимуляцію не застосовують для провокації болю у куксі або PLP; натомість учасників просять заплющити очі та локалізувати біль, щоб розрізнити ці два типи. У випадках, коли легке втискання шкіри спричиняє появу RLP, цю ділянку можна місцево знеболити, щоб зменшити його та виявити біль, спричинений невромою, під час фізичної стимуляції. Біль, спричинений невромою, також можна розпізнати за дистально іррадіюючими больовими відчуттями, які він викликає у фантомній кінцівці під час фізичної стимуляції. Для документування наявності болю, спричиненого невромою, слід застосувати щонайменше один із таких методів: відповідна симптоматика, проба Тінеля, візуалізація (ультразвукове дослідження або MPT) або блокада нерва.¹²
2. Проведіть ретельне фізикальне обстеження для виявлення потенційних цільових м'язів та оцініть рухливість м'язових тканин, що оточують нерв. Виконайте ЕМГ-оцінку цих цільових м'язів у разі, якщо скорочення м'яза важко піддається оцінюванню.
3. Сплануйте шкірні розрізи залежно від результатів кроків 1.1 та 1.2

2. Підготовка донорського нерва

1. Виконайте або регіонарну, або загальну анестезію без застосування міорелаксантів, щоб забезпечити ефективну стимуляцію нерва. ПРИМІТКА: тип анестезії залежить від місця проведення втручання.
2. Залежно від запланованої ампутації або локалізації больової невроми покладіть пацієнта на спину або на живіт. Для верхньої кінцівки використовуйте хірургічну підставку для розміщення руки.
3. Виконайте шкірний розріз за допомогою скальпеля. Довжина та форма шкірного розрізу залежать від наявних м'яких тканин або локалізації больової невроми.
4. Ідентифікуйте донорський нерв або больову неврому шляхом тупої дисекції.
5. Обережно виділіть донорський нерв або неврому під збільшенням лупи, за потреби використовуючи мікрохірургічні інструменти. ПРИМІТКА: виділення невроми є необов'язковим.
6. Мобілізуйте донорський нерв настільки, наскільки це необхідно для досягнення реципієнтної ділянки, враховуючи, що подальші нервові шви мають бути вільними від натягу в усьому обсязі рухів у проксимальних суглобах. Перетніть неврому або перетніть нерв за допомогою комерційного набору для перетинання/підготовки нерва. ПРИМІТКА: резекція невроми є необов'язковою у складних випадках.
7. Повторіть кроки 2.4-2.6 для кожного нерва з виявленою больовою невромою в поточній оголеній ділянці.

3. Ідентифікація рухової точки

1. Ідентифікуйте всі рухові гілки нерва до цільового м'яза шляхом тупої дисекції.
 1. Налаштуйте ручний стимулятор нерва на 0.5-1.0 мА, приведіть його в контакт із гілками нерва та стимулюйте кожну з них. Під час стимуляції нерв, який забезпечує найбільше скорочення м'яза, і буде використаний як реципієнтний нерв. У таблиці 1 наведено цільові м'язи, рекомендовані для кожного нерва на певному рівні ампутації.
 2. Використовуйте відомі найбільш проксимальні точки іннервації, коли це можливо.
 3. Денервуйте цільовий м'яз повністю, коли це можливо.
2. Після підтвердження активного скорочення перетніть нерв прямими мікроножицями без натягу якомога ближче до точки його входження. Прагніть до відстані менше ніж 1 см.
3. Перемістіть проксимальний кінець перетятого реципієнтного нерва проксимально, віддаливши його від місця коаптації, без будь-яких специфічних маніпуляцій.

Рівень ампутації	Донорський нерв	Рекомендований цільовий м'яз(и)
Екзартикуляція плечового суглоба	М'язово-шкірний	→ Великий грудний м'яз – ключична частина
	Серединний	→ Великий грудний м'яз – грудина частина
	Ліктьовий	Великий грудний м'яз – розщеплена грудина частина Малий грудний м'яз Найширший м'яз спини Передній зубчастий м'яз
	Променевий	Найширший м'яз спини → Великий грудний м'яз - розділена грудина частина Передній зубчастий м'яз
Трансгумеральний	М'язово-шкірний	→ Двоголовий м'яз плеча – довга головка
	Серединний	→ Двоголовий м'яз плеча – коротка головка
	Ліктьовий	Плечовий м'яз Двоголовий м'яз плеча – коротка головка
	Променевий – дистальна гілка	→ Триголовий м'яз плеча – латеральна головка
	Променевий – проксимальна гілка	→ Триголовий м'яз плеча – довга головка
Трансрадіальний	Серединний	→ Поверхневий згинач пальців Глибокий згинач пальців
	Ліктьовий	→ Ліктьовий згинач зап'ястка Довгий згинач великого пальця
	Променевий – поверхнева гілка	→ Променевий розгинач зап'ястка Глибокий згинач пальців Плечопроменевий м'яз
Екзартикуляція стегна	Сідничний	Якщо задній стегновий клапоть збережено: напівперетинчастий м'яз Напівсухожилковий м'яз Двоголовий м'яз стегна → Якщо медіальний стегновий клапоть збережено: Тонкий м'яз Довгий привідний м'яз Великий привідний м'яз Короткий привідний м'яз
	Стегновий нерв	→ Кравецький м'яз (за наявності) або невротизація затульним нервом Прямий м'яз стегна Латеральний широкий м'яз стегна
	Підшкірний	→ Кравецький м'яз (за наявності) або затульний нерв невротизація
	Затульний	→ Збережено в клапті
	Латеральний шкірний нерв стегна	Напівперетинчастий м'яз Напівсухожилковий м'яз Двоголовий м'яз стегна Кравецький м'яз

	Задній шкірний нерв стегна	→	Напівперетинчастий м'яз Тонкий м'яз Довгий привідний м'яз Великий привідний м'яз Короткий привідний м'яз
Трансфеморальний	Сідничний - малогомілкова частина	→	Двоголовий м'яз стегна
	Сідничний - задня великогомілкова частина	→	Напівсухожилковий м'яз Напівперетинчастий м'яз
	Підшкірний	→	Медіальний широкий м'яз стегна
	Задній шкірний нерв стегна	→	Двоголовий м'яз стегна - дистальна рухова гілка
Транстибіальний	Задній великогомілковий	→	Камбалоподібний м'яз Медіальна головка литкового м'яза Довгий згинач пальців
	Загальний малогомілковий	→	Латеральна головка литкового м'яза Медіальна головка литкового м'яза
	Глибокий малогомілковий	→	Передній великогомілковий м'яз
	Поверхневий малогомілковий нерв	→	довгий розгинач пальців Довгий малогомілковий м'яз
	Медіальний литковий нерв	→	довгий згинач великого пальця Медіальна головка литкового м'яза
	Латеральний литковий нерв	→	латеральна головка литкового м'яза

Таблиця 1: наведено цільові м'язи, які рекомендовано для кожного нерва на конкретному рівні ампутації.³² Адаптації, визначені індивідуальним випадком пацієнта, завжди можливі.

4. Коаптація нерв-до-нерва

1. Підшийте донорський нерв до реципієнтного залишкового або «цільового» рухового нерва за допомогою нерозсмоктувального монофіламентного шовного матеріалу 8-0, розташовуючи стібок у центральній частині донорського нерва.
ПРИМІТКА: кожен донорський нерв має більший калібр і містить більше пучків, ніж реципієнтний руховий нерв. Зазвичай спостерігається значна невідповідність.
2. Укріпіть двома або трьома нерозсмоктувальними монофіламентними швами 8-0, які фіксують епіневрій донорського нерва до фасції та епімізію, що оточують реципієнтний нерв. Переконайтеся, що коаптацію виконано без натягу та без надмірної надлишковості тканин.
3. Ушийте операційні рани пошарово.

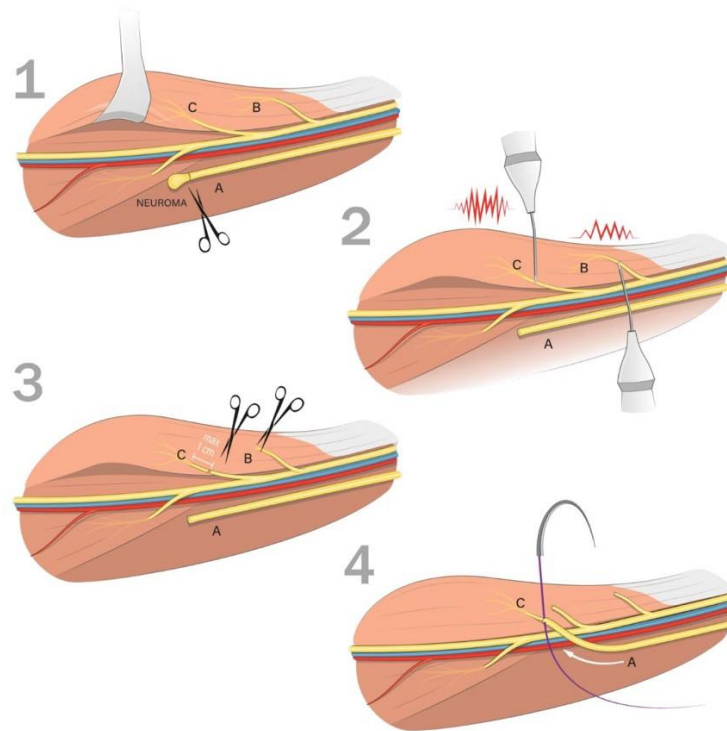


Рисунок 5: Рисунки, що пояснюють окремі етапи виконання TMR: 1) Ідентифікуйте та виділіть донорський нерв із больовою невромом (А).

Мобілізуйте донорський нерв і перетніть неврому до рівня здорових нервових пучків. 2) Ідентифікуйте руховий(і) нерв(и) до цільового м'яза та підтвердьте скорочення м'яза за допомогою ручного нейростимулятора. 3) Якщо виявлено кілька рухових гілок, оберіть ту рухову гілку, яка спричиняє найбільше скорочення (С). Перетніть нерв без натягу якомога ближче до місця його входження (максимум 1 см). Денервуйте інші виявлені рухові гілки до того самого м'яза, якщо це можливо (В). 4) Підшийте підготовлений донорський нерв до реципієнтного залишкового або «цільового» нерва швом, розміщеним у центрі донорського нерва. Підсильте двома або трьома мікрошвами, що фіксують епіневрій донорського нерва до фасції та епімізію, які оточують реципієнтний нерв. (Copyright Pettersen et al., 2024 ³²)

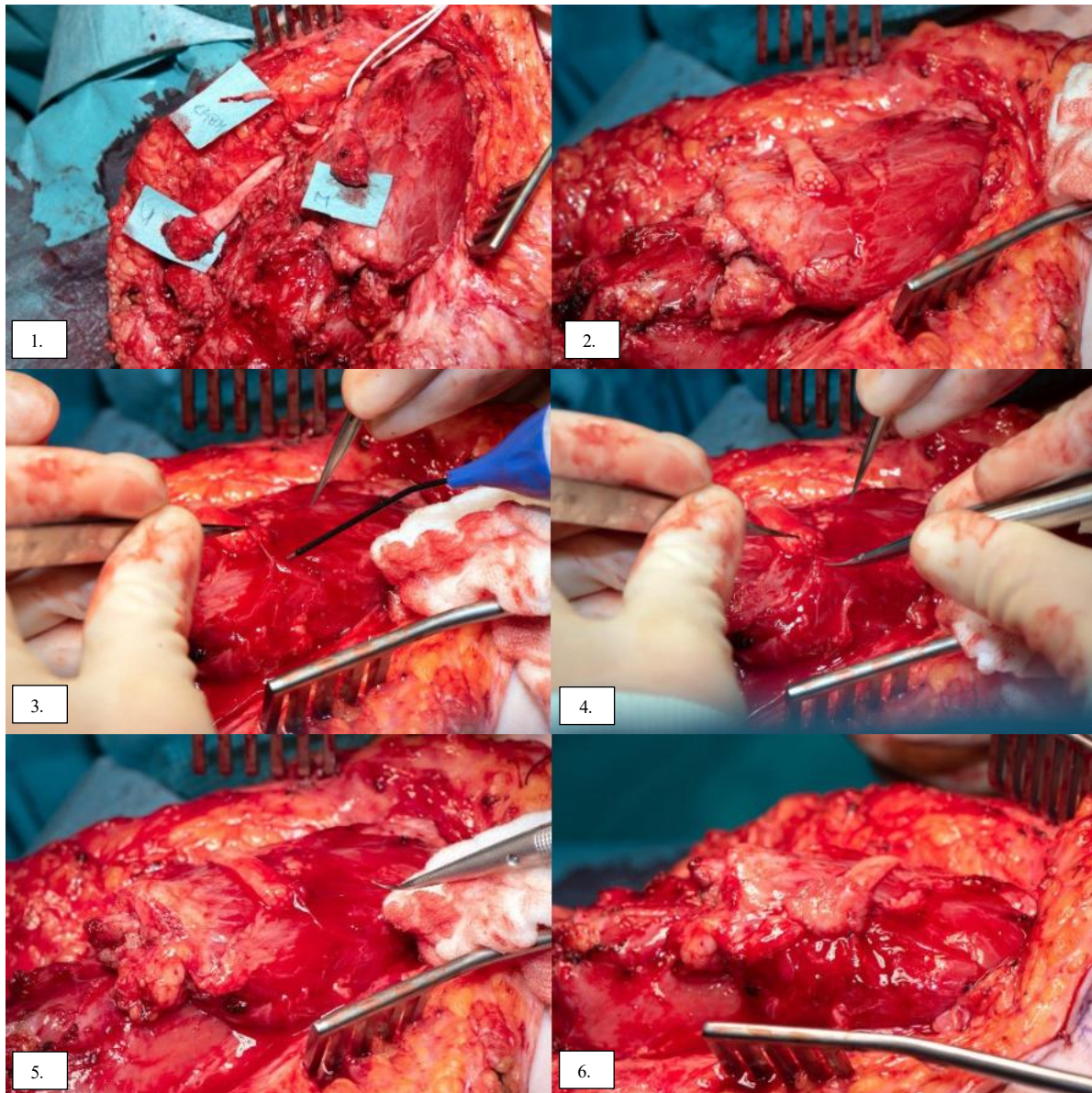


Рисунок 6: Операційні знімки, що пояснюють окремі етапи виконання TMR: **1.** Ідентифікуйте донорський нерв або больову неврому шляхом тупої дисекції. Обережно виділіть донорський нерв або неврому під збільшенням лупи, за потреби використовуючи мікрохірургічний інструментарій. Мобілізуйте донорський нерв настільки, наскільки це необхідно для досягнення реципієнтної ділянки, з урахуванням того, що наступні нервові шви є вільними від натягу в усьому діапазоні рухів у проксимальних суглобах. **2.** Перетніть неврому або перетніть нерв за допомогою комерційного набору для перетинання/підготовки нервів. **3.** Ідентифікуйте всі рухові гілки нерва до цільового м'яза шляхом тупої дисекції. Установіть ручний нейростимулятор на 0.5-1.0 мА, приведіть його в контакт з гілками нерва та стимулюйте кожну з них. Під час стимуляції нерв, що забезпечує найбільше скорочення м'яза, є тим, який буде використано як реципієнтний нерв. **4.** Після підтвердження активного скорочення перетніть нерв прямими мікроножицями без натягу якомога ближче до місця його входження. Прагніть до менш ніж 1 см. Перемістіть проксимальний кінець перетнутого реципієнтного нерва проксимально від місця коаптації без будь-яких особливих заходів. **5.** Підшийте донорський нерв до реципієнтного залишкового або «цільового» рухового нерва нерозсмоктувальною монофіламентною ниткою 8-0, розмістивши шов у центрі донорського нерва. ПРИМІТКА: Кожен донорський нерв має більший калібр і більше пучків, ніж реципієнтний руховий нерв. Зазвичай спостерігається значна невідповідність. Підсилюйте двома або трьома нерозсмоктувальними монофіламентними швами 8-0, що фіксують епіневрій донорського нерва до фасції та епімізію, які оточують реципієнтний нерв. **6.** Переконайтеся, що коаптацію виконано без натягу та без надмірного надлишку. Щоб запобігти проростанню аксонів поза епіневральним нервовим швом, стандартний RPNI обгортають навколо ділянки коаптації, див. розділ RPNI. Ушийте операційні рани пошарово. (Copyright: Almuth Siefke, MHN)

Усунення проблем та міркування

Felder та співавт. повідомили про досвід технічних труднощів, таких як надлишкова довжина нерва, невідповідність розмірів, утворення невроми, розташування місць коаптації, повна денервація м'яза у цільовій ділянці та вибір оптимальної цілі для функціональності протеза.³³

Принципи таргетної сенсорної реіннервації (TSR)

Вплив сенсорного зворотного зв'язку на керування протезами, а також пов'язане з ним посилення відчуття втілення та зменшення фантомного болю підтверджено численними дослідженнями.^{34–36} Для більш природного сенсорного зворотного зв'язку суто сенсорний нерв можна вибірково транспонувати за аналогією з процедурою TMR. Це принцип хірургічної таргетної сенсорної реіннервації (TSR).³⁷ Описаний процес полягає у вибірковій реіннервації певної ділянки шкіри шляхом з'єднання сенсорного донорського нерва з ділянки ампутації з визначеною чутливою шкірною гілкою. Це дає змогу стимулювати ділянку шкіри синхронно з функцією протеза за допомогою системи сенсорного зворотного зв'язку, яку можна інтегрувати в систему гільзи. Ця методика здатна забезпечити сенсорний зворотний зв'язок, і було показано, що вона покращує функціональність та відчуття втілення протеза.^{1,38}

Примітка: Під час процедури TMR шкіра, що вкриває цю ділянку, реіннервується шляхом перенаправлення змішаних донорських нервів, що містять сенсорні та рухові нервові волокна, до прилеглих м'язових мішеней. Це сприяє відновленню чутливості та рухового контролю в неспрямований спосіб.^{39–41}

Описано такі протоколи TSR:

Донор Нерв	Реципієнтний нерв (TSR)	Реіннервована ділянка шкіри та чутливість	Джерело
Серединний нерв	Пучок серединного нерва було коаповано до міжреброво-плечового шкірного (T2)	Він іннервує шкіру, що вкриває медіальну поверхню плеча	Herbert (2014)
Ліктьовий нерв	Пучок ліктьового нерва було з'єднано зі шкірною гілкою пахвового нерва	Він іннервує шкіру, що вкриває нижню ділянку дельтоподібного м'яза (зона полкового знаку)	Herbert (2014)
Літковий нерв	Транстибіальна (TT): транспозиція іпсилатерального літкового нерва до шкірної території підшкірного нерва	Іннервує ділянку шкіри на передній та медіальній поверхні гомілки	Gardetto (2021)

Литковий нерв	Трансфеморальна (TF): трансплантація контралатерального литкового нерва як аутологічного трансплантата від дистальної кукси сідничного нерва до шкірної території латерального шкірного нерва стегна	Він іннервує шкіру, що вкриває латеральну поверхню стегна	Gardetto (2021)
----------------------	--	---	-----------------

Таблиця 2: Протоколи таргетної сенсорної реіннервації (TSR)

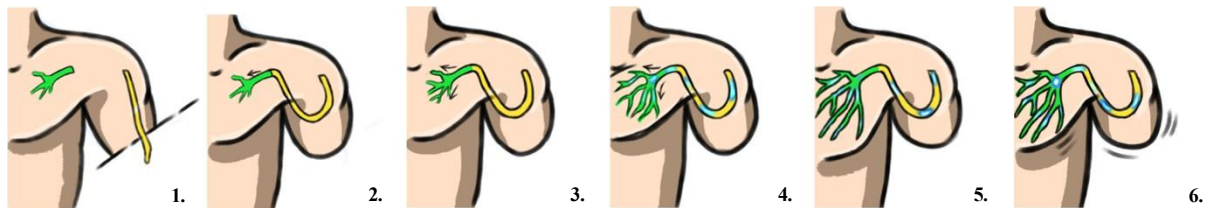


Рисунок 7: Таргетна сенсорна реіннервація при ампутації великого сегмента кінцівки: 1. Ідентифікуйте донорський нерв шляхом тупої дисекції та обережно виділіть донорський нерв під збільшенням лупи, за потреби використовуючи мікрохірургічний інструментарій. Мобілізуйте донорський нерв настільки, наскільки це необхідно для досягнення реципієнтної ділянки. 2. Ідентифікуйте всі сенсорні гілки нерва до цільового м'яза шляхом тупої дисекції. Перенесіть донорський нерв до визначеної чутливої шкірної гілки та коаптуйте дистальний кінець перетнутого сенсорного нерва за допомогою нейрорафії кінець-у-кінець. 3.-6. Це забезпечує нерв провідною структурою, що входить у шкіру, знаходить шкірні рецептори та реіннервує відповідну ділянку шкіри. (Copyright: Katharina Kasprzak, MHN)

Хірургічний алгоритм

Важливо надавати пацієнтам вичерпну інформацію про наявні варіанти та обмеження сучасних доступних технологій, а також про хід шкірних розрізів. Наразі існує одне комерційно доступне рішення для стимуляції нижньої кінцівки, що реіннервує шкіру з вібротактильним зворотним зв'язком, і воно ще не доступне для застосування на верхній кінцівці. Проте варто також зазначити, що такі інновації можуть прокласти шлях до потенційного використання як інтерфейсу «людина–машина» у майбутньому.

1. Підготовка донорського та реципієнтного нерва

1. Виконайте або регіонарну, або загальну анестезію без застосування міорелаксантів, щоб забезпечити ефективну стимуляцію нерва. ПРИМІТКА: тип анестезії залежить від місця проведення втручання.
2. Розташуйте пацієнта належним чином, щоб забезпечити доступ до операційного поля, залежно від запланованої ампутації або локалізації больової невроми.
3. Виконайте шкірний розріз за допомогою скальпеля. Довжина та форма шкірного розрізу залежать від наявних м'яких тканин або локалізації больової невроми.
4. Ідентифікуйте донорський нерв або больову неврому шляхом тупої дисекції.
5. Ідентифікуйте реципієнтний нерв за допомогою тупої дисекції.
6. Обережно виділіть донорський і реципієнтний нерв або неврому під збільшенням лупи, за потреби використовуючи мікрохірургічні інструменти.
7. Мобілізуйте донорський нерв на довжину, необхідну для досягнення реципієнтної ділянки, враховуючи, що наступні шви нерва мають бути без натягу

в усьому обсязі рухів у проксимальних суглобах. Перетніть реципієнтний нерв або перетніть больову неврому за допомогою комерційного набору для перетинання/підготовки нерва.

8. Перемістіть кінець донорського нерва до дистального перетнутого реципієнтного нерва.
9. Занурте проксимальний кінець перетнутого нерва подалі від місця коаптації та поверхні. RPNІ можна застосувати до проксимального кінця перетнутого нерва.

2. Коаптація нерв-до-нерва

1. Підшийте донорський нерв до реципієнтного залишкового або «цільового» рухового нерва нерозсмоктувальним монофіламентним швом 8-0 або тоншим, накладаючи шов у центрі донорського нерва. ПРИМІТКА: кожен донорський нерв має більший калібр і більше пучків, ніж реципієнтний руховий нерв. Зазвичай спостерігається значна невідповідність.
2. Підсильте двома або трьома нерозсмоктувальними монофіламентними швами 8-0, які фіксують епіневрій донорського нерва до навколишньої тканини реципієнтного нерва. Переконайтеся, що коаптацію виконано без натягу та без надмірної надлишковості.
3. Ушийте операційні рани пошарово.

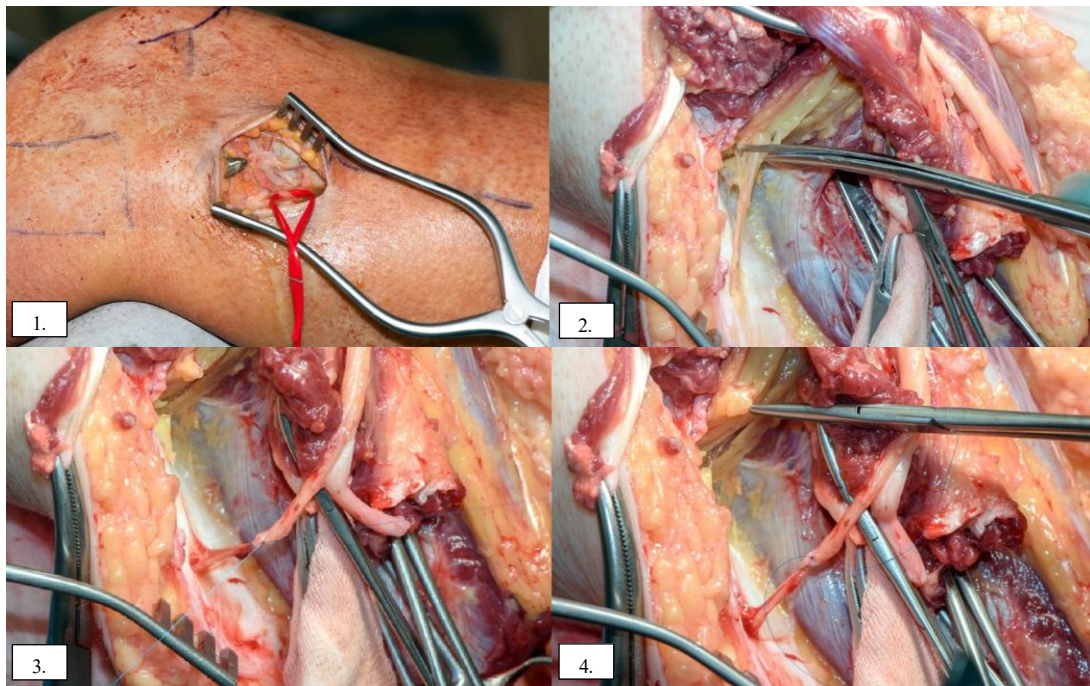


Рисунок 8: 1. Ідентифікуйте всі чутливі гілки нерва до цільової ділянки шкіри шляхом тупої дисекції 2. Перетніть нерв за допомогою прямих мікроножиць, які розсікають нерв на такий довжині, що дозволяє виконати коаптацію нерва без натягу. Перемістіть проксимальний кінець перетнутого реципієнтного нерва у проксимальному напрямку, подалі від місця коаптації. Занурте його у м'яз подалі від поверхні, щоб уникнути дії тиску, або обгорніть навколо нього RPNІ. 3. Підшийте донорський нерв до реципієнтного залишкового або «цільового» чутливого нерва нерозсмоктувальним монофіламентним швом 8-0, накладаючи шов у центрі донорського нерва. ПРИМІТКА: кожен донорський нерв має більший калібр і більше пучків, ніж реципієнтний чутливий нерв. Зазвичай спостерігається значна невідповідність. За потреби навколо коаптації можна обгорнути стандартний RPNІ. 4. Підсильте двома або трьома нерозсмоктувальними монофіламентними швами 8-0, які фіксують епіневрій донорського нерва до фасції та епімізію, що оточують реципієнтний нерв. Переконайтеся, що коаптацію виконано без натягу та без надмірної надлишковості. Ушийте операційні рани пошарово. (Copyright: Almuth Siefke, MHN)

Усунення проблем та міркування

Повідомлений досвід технічних труднощів включає надлишковість нерва, відстані між донорським і реципієнтним нервами, невідповідність розмірів, утворення невроми, розташування місць коаптації, тимчасову або повну денервацію шкіри в цільовій ділянці з можливою дизестезією, а також вибір оптимальної цілі для забезпечення функціональності протеза та системи зворотного зв'язку.³³

Наразі існує лише одна комерційно доступна система зворотного зв'язку (Suralis, Saphenus Medical Technology, 3500 Krems, Austria) для осіб з ампутацією нижньої кінцівки, поза межами лабораторних прототипів. Ця система передбачає реіннервацію медіальної ділянки гомілки шляхом трансплантації литкового нерва, який потім коаптують до підшкірного нерва в нижній третині стегна в осіб з ампутацією нижче коліна, або литкового нерва до латерального шкірного нерва на рівні стегна в осіб з ампутацією вище коліна.³⁷ Інтегруючи датчики тиску в шкарпетку, що надягається на протезну стопу та задній відділ стопи, ця система здатна кодувати тиск у парадигму вібротактильного зворотного зв'язку. У результаті вона забезпечує інтерфейс людина-машина, який передає сенсорну інформацію до реіннервованої ділянки на стегні або гомілці. Ця інновація має потенціал суттєво покращити пропріоцептивний зворотний зв'язок в осіб із протезованими кінцівками, що зрештою може привести до покращення ходи та загальної функціональності.^{1,37}

Принципи регенеративного інтерфейсу периферичного нерва (RPNI)

Регенеративний інтерфейс периферичного нерва (RPNI) також описує селективну невротизацію. Порівняно з TMR ця процедура потребує значно менше часу і може виконуватися хірургами, які не є мікрохірургами. У цій процедурі використовують невеликий вільний аваскулярний денервований м'язовий трансплантат.⁴² Згодом за неоваскуляризацією м'язового трансплантата настає реіннервація шляхом регенерації нерва. Спочатку метод був продемонстрований у поєднанні з імплантованими електродами на тваринних моделях для виявлення м'язових сигналів, які могли б використовуватися для керування протезом.⁴³ Було доведено, що трансплантована м'язова тканина реіннервується і має потенціал функціонувати як передавач сигналу в майбутньому. Вкрай важливо забезпечити життєздатність вільного м'язового трансплантата, обмеживши його розміри максимум до 30-40 мм у довжину, 15-20 мм у ширину та 5-6 мм у товщину.^{42,44} Аваскулярний денервований м'язовий трансплантат слугує мішенню для регенеруючих аксонів кукси нерва. Окремі нерви розщеплюють інтерфасцикулярно з утворенням кількох окремих нервових закінчень, або для того, щоб полегшити проходження більшої кількості сигналів, або для того, щоб забезпечити аксони додатковою м'язовою тканиною для реіннервації.⁴⁴ Цей процес дозволяє формування нових нервово-м'язових з'єднань, які ефективно запобігають виникненню нових симптомів нейропатії. Показано, що застосування RPNIs зменшує фантомний біль у кінцівці до 53 відсотків, а біль, спричинений невромою, – на 71 відсоток.^{1,8,42}

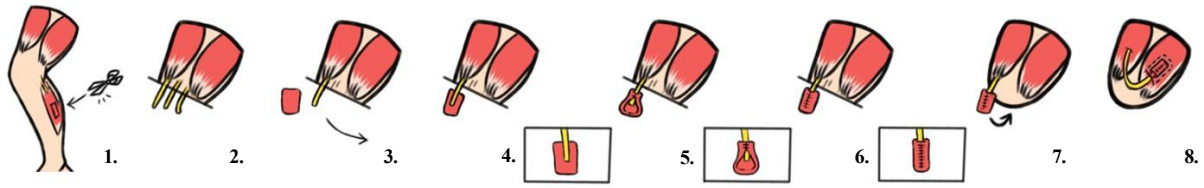


Рисунок 9: Регенеративний інтерфейс периферичного нерва при ампутації великого сегмента кінцівки: 1. Ідентифікуйте здоровий донорський м'яз і візьміть м'язовий трансплантат (розміри 3 см (довжина) x 1.5 см (ширина) x 0.5 см (товщина)). 2. Ідентифікуйте та виділіть нерв. Перетніть можливу больову неврому. 3.-4. Помістіть пучок у м'язовий трансплантат і зафіксуйте нерв швами. 5.-6. Загорніть м'язовий трансплантат навколо пучка та зафіксуйте швами. 7.-8. Виконайте тупу дисекцію в куксі кінцівки, щоб забезпечити захищену ділянку, у якій кожен RPNI може зручно розташовуватися поза поверхніми кінцівки, що зазнають опорного навантаження (Copyright: Katharina Kasprzak, МНН)

Хірургічний алгоритм

Стандартизований хірургічний протокол було опубліковано нещодавно, і його стисло викладено нижче.⁴⁵

1. Передопераційна підготовка

1. Діагностуйте больову неврому (невроми) за наявності
2. Сплануйте розрізи шкіри залежно від результатів кроку 1.1 та залежно від локалізації кожної больової невроми. ПРИМІТКА: у принципі, можна використати будь-який здоровий скелетний м'яз; проте спочатку було рекомендовано забирати м'язовий трансплантат з латерального широкого м'яза стегна.⁴⁶

2. Підготовка реципієнтної ділянки

1. Виконайте регіонарну або загальну анестезію. ПРИМІТКА: Тип анестезії залежить від ділянки виконання процедури.
2. Розташуйте пацієнта у положенні лежачи на спині або на животі, залежно від запланованої ампутації або локалізації больової невроми. Для верхньої кінцівки покладіть руку на хірургічну підставку для руки.
3. Визначайте довжину та форму шкірного розрізу залежно від наявних м'яких тканин або локалізації больової невроми.
4. Ідентифікуйте нерв або больову неврому за допомогою тупої дисекції.
5. Обережно виділіть нерв або неврому за допомогою тонких інструментів. За потреби використовуйте збільшення з лупою. ПРИМІТКА: Виділення невроми є необов'язковим у складних випадках.
6. Мобілізуйте нерв і перетніть його або перетніть неврому до рівня здорових нервових пучків, використовуючи комерційний набір для розсічення/препарування нервів. ПРИМІТКА: Резекція невроми є необов'язковою у складних випадках.
7. Виконайте поздовжні інтраневральні дисекції від дистального кінця нерва приблизно на **2-3 см** прямими мікроножицями. **Кількість пучків залежатиме від рівня ампутації та розміру нерва. Переконайтеся, що діаметр кожного пучка становить щонайбільше 4-6 мм.** Для кожного нерва рекомендована кількість нервових пучків, які слід підготувати, наведена в *Таблиці 3*.

Рівень ампутації	Нерв	Рекомендована кількість нервових пучків
Екзартикуляція плеча	Пахвовий	2
	М'язово-шкірний	2
	Серединний	3
	Ліктьовий	2
	Променевий	2
Трансгумеральний	Пахвовий	2
	М'язово-шкірний	2
	Серединний	3
	Ліктьовий	3
	Променевий	2
Трансрадіальний	Серединний	3
	Ліктьовий	2
	Променевий	1*
Екзартикуляція стегна	Сідничний	4
	Стегновий	3
	Латеральний шкірний нерв стегна	1*
	Затульний	1*
	Задній шкірний нерв стегна	2
Трансфеморальний	Сідничний	3
	Великогомілковий	2
	Глибокий малогомілковий	1*
	Поверхневий малогомілковий	1*
	Литковий	1*
	Підшкірний	1*
Транстибіальний	Великогомілковий	2
	Глибокий малогомілковий	2
	Поверхневий малогомілковий	1*
	Литковий	1*
	Підшкірний	1*
* Використовувати нерв повністю		

Таблиця 3: Рекомендована кількість нервових пучків, зазначена для кожного нерва на конкретному рівні ампутації.⁴⁵ Адаптація відповідно до індивідуального випадку пацієнта завжди можлива.

3. Підготовка донорської ділянки

- Ідентифікуйте здоровий власний донорський м'яз як джерело для отримання вільного м'язового трансплантата. Візьміть м'язовий трансплантат наступним чином:
 - Переконайтеся, що кожен трансплантат має розміри 3 см (довжина) x 1.5 см (ширина) x 0.5 см (товщина). ПРИМІТКА: Головна вісь має бути паралельна м'язовим волокнам.

2. Виділіть м'язовий трансплантат за допомогою делікатних препарувальних ножиць уздовж головної осі м'язових волокон. За потреби використовуйте збільшувальні лупи.
3. Обережно висічіть жирову тканину та м'язову фасцію з м'язового трансплантата за допомогою препарувальних ножиць.
2. Зберігайте забраний м'яз у вологій марлі з 0.9% стерильним NaCl до використання в розділі 4.
3. Повторіть кроки 3.1-3.2 для кожного м'язового трансплантата, виходячи з кількості нервів і відповідних нервових пучків, які потрібно обгорнути підготовленим вільним м'язовим трансплантатом для конструкції RPNI.

4. Виготовлення конструкції RPNI

1. Оголіть нерв, який уже виділено та розділено на пучки.
2. Розмістіть пучок на м'язовому трансплантаті так, щоб дистальна кукса потрапляла в центральну або проксимальну третину м'язового трансплантата, зберігаючи його орієнтацію паралельно м'язовим волокнам. ПРИМІТКА: Паралельна орієнтація є кращою, щоб оптимізувати успішну аксональну реіннервацію.
3. Зафіксуйте куксу нерва в центрі поздовжньої осі м'язового трансплантата за допомогою 6-0 нерозсмоктувальних монофіламентних швів. Накладіть ще один шов, щоб зафіксувати нерв біля проксимального краю м'язового трансплантата. ПРИМІТКА: Не вшивайте кінець нерва в м'язовий трансплантат; перетнута частина нерва залишається вільною.
4. Складіть м'язовий трансплантат навколо пучка та зафіксуйте його вузловим або безперервним нерозсмоктувальним монофіламентним швом 6-0.
5. Повторіть кроки 4.1-4.4 для кожного пучка.
6. Виконайте тупу дисекцію в куксі, щоб створити захищену ділянку, де кожен RPNI може вільно розміщуватися поза опорними поверхнями кінцівки. За можливості зміщуйте розташування кожного RPNI послідовно.
7. Ушійте операційні рани пошарово.

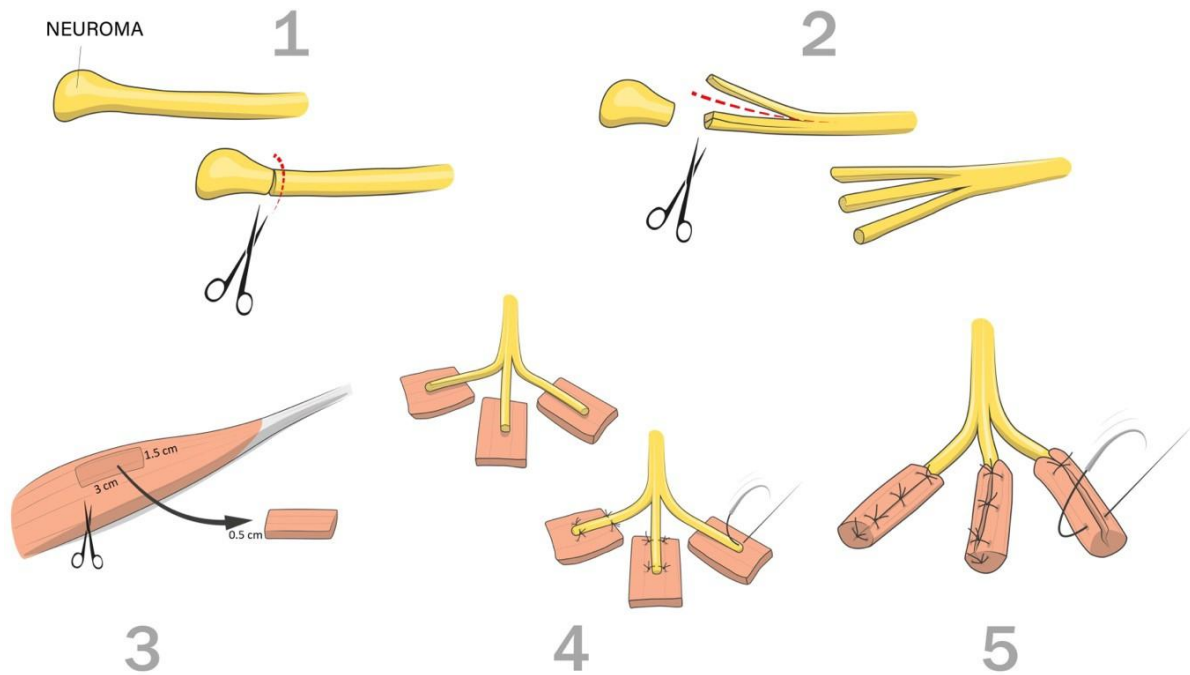
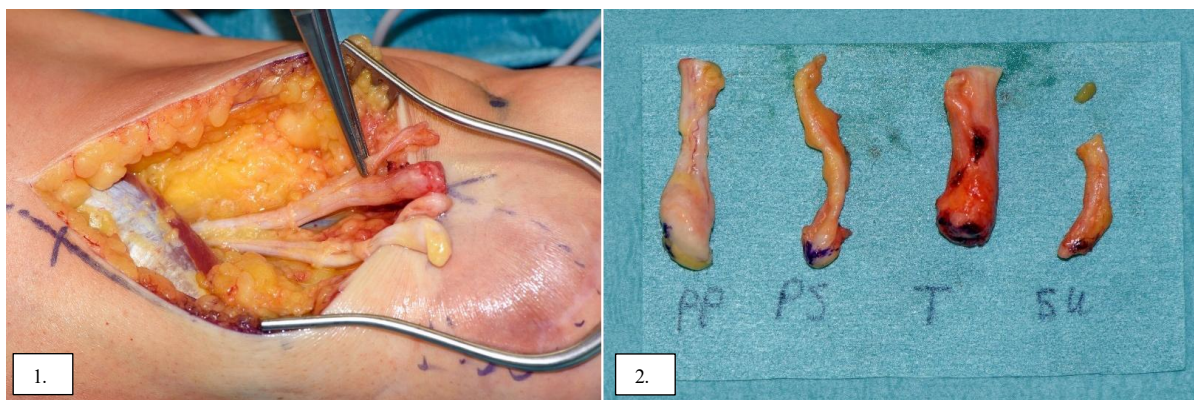


Рисунок 10: Рисунки, що пояснюють окремі етапи для RPNI: 1) Ідентифікуйте та виділіть нерв з больовою невромою. Мобілізуйте нерв і перетніть неврому до рівня здорових нервових пучків. 2) Виконайте поздовжні інтраневральні дисекції від дистального кінця нерва. Кількість нервових пучків залежить від рівня ампутації та розміру нерва. 3) Ідентифікуйте здоровий власний донорський м'яз і візьміть м'язовий трансплантат розмірами: 3 см (довжина) x 1.5 см (ширина) x 0.5 см (товщина). 4) Розмістіть пучок у м'язовому трансплантаті так, щоб кукса потрапляла в центр м'язового трансплантата, зберігаючи орієнтацію паралельно м'язовим волокнам. Зафіксуйте нерв усередині м'язового трансплантата швами проксимально та дистально від кукси нерва. 5) Складіть м'язовий трансплантат навколо пучка та зафіксуйте. (Copyright Pettersen et al., 2024 ⁴⁵)



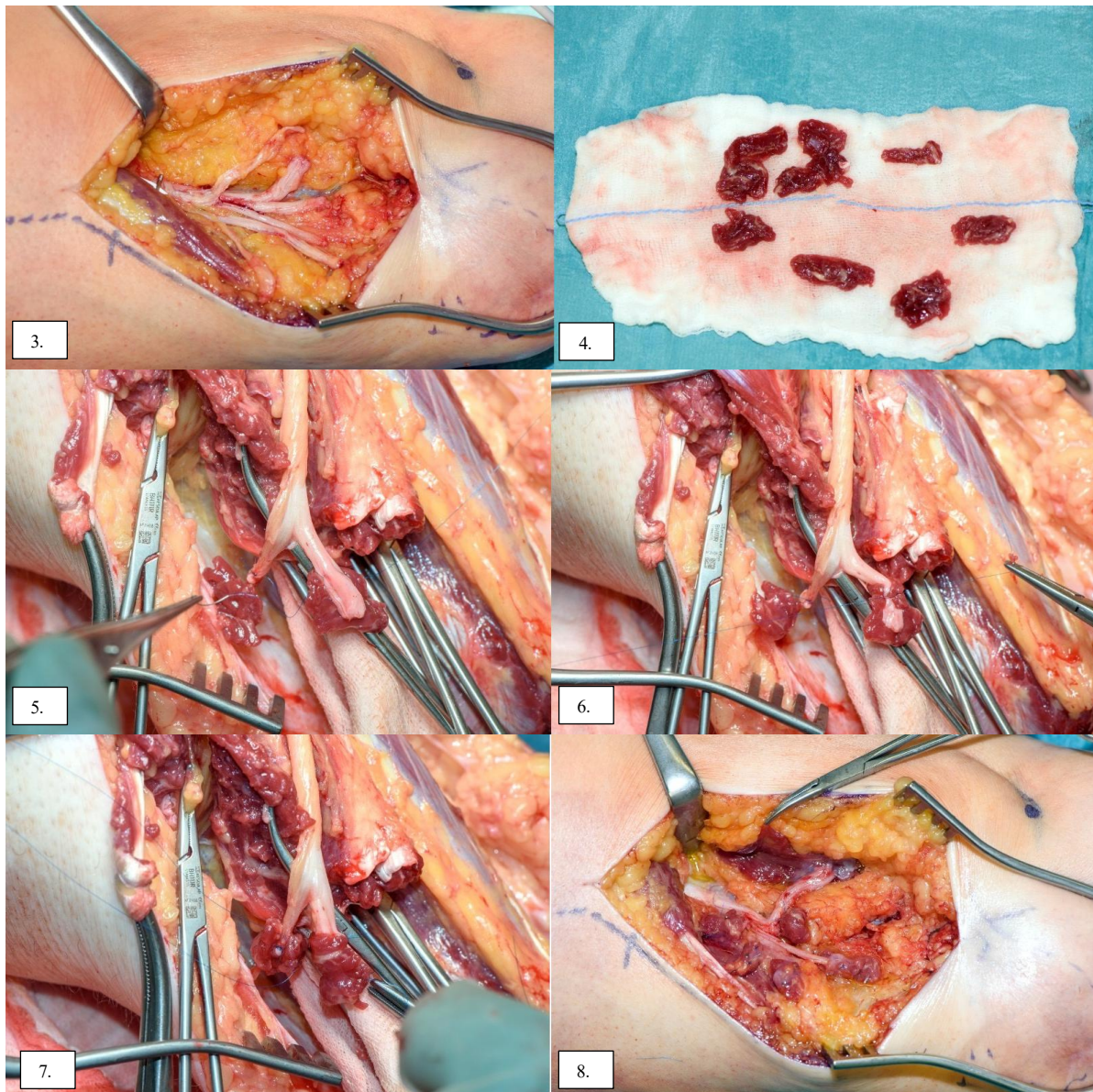


Рисунок 11: Хірургічні зображення, що пояснюють окремі етапи RPNi: **1.** Ідентифікуйте нерв або больову неврому за допомогою тупої дисекції. Обережно виділіть нерв або неврому за допомогою тонких інструментів. За потреби використовуйте збільшення з лупою. **2.** Мобілізуйте нерв і перетніть його або перетніть неврому до рівня здорових нервових пучків, використовуючи комерційний набір для розсічення/препарування нервів. **3.** Виконайте поздовжні інтраневральні дисекції від дистального кінця нерва приблизно на 2-3 см прямими мікроножицями. Кількість пучків залежатиме від рівня ампутації та розміру нерва. Переконайтеся, що діаметр кожного пучка становить щонайбільше 4-6 мм. **4.** Ідентифікуйте здоровий власний донорський м'яз як джерело для отримання вільного м'язового трансплантата. Візьміть м'язовий трансплантат наступним чином: а) Переконайтеся, що кожен трансплантат має розміри 3 см (довжина) x 1.5 см (ширина) x 0.5 см (товщина). б) Виділіть м'язовий трансплантат за допомогою делікатних препарувальних ножиць уздовж головної осі м'язових волокон. с) Обережно висічіть жирову тканину та м'язову фасцію з м'язового трансплантата за допомогою препарувальних ножиць. **5-6.** Оголіть нерв, який уже виділено та розділено на пучки. Розмістіть пучок на м'язовому трансплантаті так, щоб дистальна кукса потрапляла в центральну або проксимальну третину м'язового трансплантата, зберігаючи його орієнтацію паралельно м'язовим волокнам. Зафіксуйте куксу нерва в центрі поздовжньої осі м'язового трансплантата за допомогою нерозсмоктувальних монофіламентних швів 6-0. Накладіть ще один шов, щоб зафіксувати нерв біля проксимального краю м'язового трансплантата. **7.** Складіть м'язовий трансплантат навколо пучка та зафіксуйте його вузловим або безперервним нерозсмоктувальним монофіламентним швом 6-0. Повторіть кроки для кожного пучка. **8.** Виконайте тупу дисекцію в куксі, щоб створити захищену ділянку, де кожен RPNi може вільно розміщуватися поза опорними кінцівками. За можливості зміщуйте розташування кожного RPNi послідовно. Закрийте хірургічні рани пошарово. (Copyright: Almuth Siefke, MHN)

Нагадування: основні принципи хірургії периферичних нервів

Основні принципи хірургії периферичних нервів включають ретельну дисекцію із застосуванням відповідного збільшення, дбайливе поводження з нервом та його захист. Для коаптації, будь ласка, підсилюйте шов за допомогою двох або трьох нерозсмоктувальних монофіламентних швів 8-0 (або еквівалентних), які фіксують епіневрій донорського нерва до фасції та епімізію, що оточують реципієнтний нерв. Переконайтеся, що коаптацію виконано без натягу та без надмірного надлишку тканини.^{7,47-49}

Нервова тканина має лежати вільно та осторонь від опорних поверхонь кінцівки. Це також передбачає корекцію супутніх м'якотканинних і кісткових компонентів для оптимізації результату. Крім того, післяопераційний захист шва нерва протягом трьох тижнів, реабілітація та моніторинг є важливими складовими успішного хірургічного втручання.^{7,47-49}

Огляд літератури

Наш літературний пошук, проведений 18 квітня 2024 року, був спрямований на публікації з цієї теми після листопада 2021 року та ґрунтувався на попередніх оглядах^{8,9} у яких вивчали вплив TMR та RPNІ на PLP та RLP. Пошук виявив 16 систематичних оглядів літератури, 3 проспективні когортні дослідження, 10 ретроспективних когортних досліджень, 2 ретроспективні огляди медичної документації, 1 обсерваційне дослідження витрат і користі та 2 дослідження випадок-контроль, класифіковані за рівнями доказовості (LoE) 1, 2 або 3. Нижче наведено узагальнені результати, згруповані за терапевтичним підходом, профілактичним підходом, хірургічними міркуваннями, післяопераційним доглядом та хірургічними міркуваннями, пов'язаними з бойовою травмою.

I Терапевтичний підхід

1.1	Рекомендація	адапована/нова
Ступінь рекомендації (GoR): GoR A	Хірургічні методики, спрямовані на симптоматичну неврому, можуть ефективно зменшувати фантомний біль. <i>Джерела:</i> De Lange et al. (2022) LoE II Dumanian et al. (2019) LoE Ib	
Рівень доказовості: II	Сила консенсусу:	

1.1

Повністю не погоджуюсь	Не згоден	Нейтрально	Згоден	Повністю погоджуюсь

1.2	Рекомендація	адаптована/нова
Ступінь рекомендації: GoR B	У разі виникнення PLP та супутнього NP хірургічні втручання слід застосовувати якомога раніше з метою запобігання хронізації больового синдрому. <i>Джерела:</i> Goodyear et al. (2024) LoE III Yuan et al. (2024) LoE IIa	
Рівень доказовості: II-III	Сила консенсусу:	

1.2

Повністю не погоджуюсь	Не згоден	Нейтрально	Згоден	Повністю погоджуюсь

II Профілактичний підхід

2.1	Рекомендація	адаптована/нова
Ступінь рекомендації: GoR A	Раннє розглядання TMR та RPNI як профілактичних заходів допомагає звести до мінімуму ризик виникнення фантомного болю в осіб, яким виконують ампутацію. <i>Джерела:</i> De Lange et al. (2022) LoE II Yuan et al. (2022) LoE IIa	
Рівень доказовості: II	Сила консенсусу:	

2.1

Повністю не погоджуюсь	Не згоден	Нейтрально	Згоден	Повністю погоджуюсь

III Хірургічні аспекти

3.1	Рекомендація	адаптована/нова
Ступінь рекомендації: GoR B	Дотримуйтесь основних принципів хірургії периферичних нервів при виконанні таргетної м'язової реіннервації (TMR) та регенеративного інтерфейсу периферичного нерва (RPNI) втручань для досягнення успішних результатів. <i>Джерела:</i> Pettersen et al. (2024) LoE V De Lange et al. (2022) LoE II	
Рівень доказовості: III	Сила консенсусу:	

3.1

Повністю не погоджуюсь	Не згоден	Нейтрально	Згоден	Повністю погоджуюсь

3.2	Рекомендація	адаптована/нова
Ступінь рекомендації: GoR B	Фантомний біль і біль у куксі взаємопов'язані. Під час ревізійної операції на куксі слід усунути інші супутні стани, що спричиняють біль у куксі, такі як кісткові шпори, ішемія та рубці тощо, щоб підвищити шанси на досягнення знеболення. <i>Джерела:</i> Liu et al. (2015) LoE III Erlenwein et al. (2021) LoE V	
Рівень доказовості: IV	Сила консенсусу:	

3.2

Повністю не погоджуюсь	Не згоден	Нейтрально	Згоден	Повністю погоджуюсь

3.3	Рекомендація	адаптована/нова
Ступінь рекомендації: GoR B	Для успішного виконання TMR рекомендується володіти повним набором хірургічних навичок та мікрохірургічним обладнанням. Ці навички є необхідними для точного та професійного виконання процедури. <i>Джерела:</i> Pettersen et al. (2024) LoE V De Lange et al. (2022) LoE II	
Рівень доказовості: III	Сила консенсусу:	

3.3

Повністю не погоджуюсь	Не згоден	Нейтрально	Згоден	Повністю погоджуюсь

3.4	Рекомендація	адаптована/нова
Ступінь рекомендації: GoR B	RPNI є прийнятною альтернативою для лікування та профілактики PLP. Він не потребує мікрохірургічного обладнання та вимагає менше операційного часу, ніж TMR. Наразі він не дає змоги здійснювати міоелектричне керування протезом. <i>Джерела:</i> Pettersen et al. (2024) LoE V De Lange et al. (2022) LoE II	
Рівень доказовості: III	Сила консенсусу:	

3.4

Повністю не погоджуюсь	Не згоден	Нейтрально	Згоден	Повністю погоджуюсь

Розділ 3: Післяопераційний догляд

Хірургічний післяопераційний догляд

Післяопераційний захист шва нерва протягом періоду тривалістю у три тижні, реабілітація та моніторинг є важливими складовими успішного хірургічного втручання.^{7,47–49}

Протезна реабілітація

Застосування протеза може сприяти зменшенню сенсомоторної невідповідності після ампутації, забезпечуючи тактильні та зорові стимули, які підсилюються самим протезом. Носіння та використання протеза має знеболювальний ефект, подібний до впливу дзеркальної терапії на реорганізацію сенсомоторної кори та фантомний біль. Крім того, носіння протеза сприяє процесу «втілення» тіла та відновлює його цілісність, обидва ці чинники здатні зменшувати фантомний біль.⁵⁰ Соматосенсорний зворотний зв'язок посилює втілення, зменшує фантомний біль і покращує функціональність протеза.^{51–53} Цього сприятливого ефекту, наприклад, можна досягти за допомогою міоелектричних протезів із системами зворотного зв'язку, інтегрованими в гільзу протеза, або без них.³⁸ Окрім згаданих раніше переваг, ці системи забезпечують сенсорний зворотний зв'язок для шкіри, що, як було показано, покращує функцію, безпеку, мобільність, а також відчуття контролю над шкірою та її належності.^{1,34,38,53,54}

Загальна реабілітація

Ретельне тривале динамічне спостереження в мультидисциплінарній команді має вирішальне значення для виявлення та лікування кінцівок зі стійкою симптоматикою, що зрештою призводить до ширшого використання протезів і загального покращення результатів у пацієнтів.¹⁰

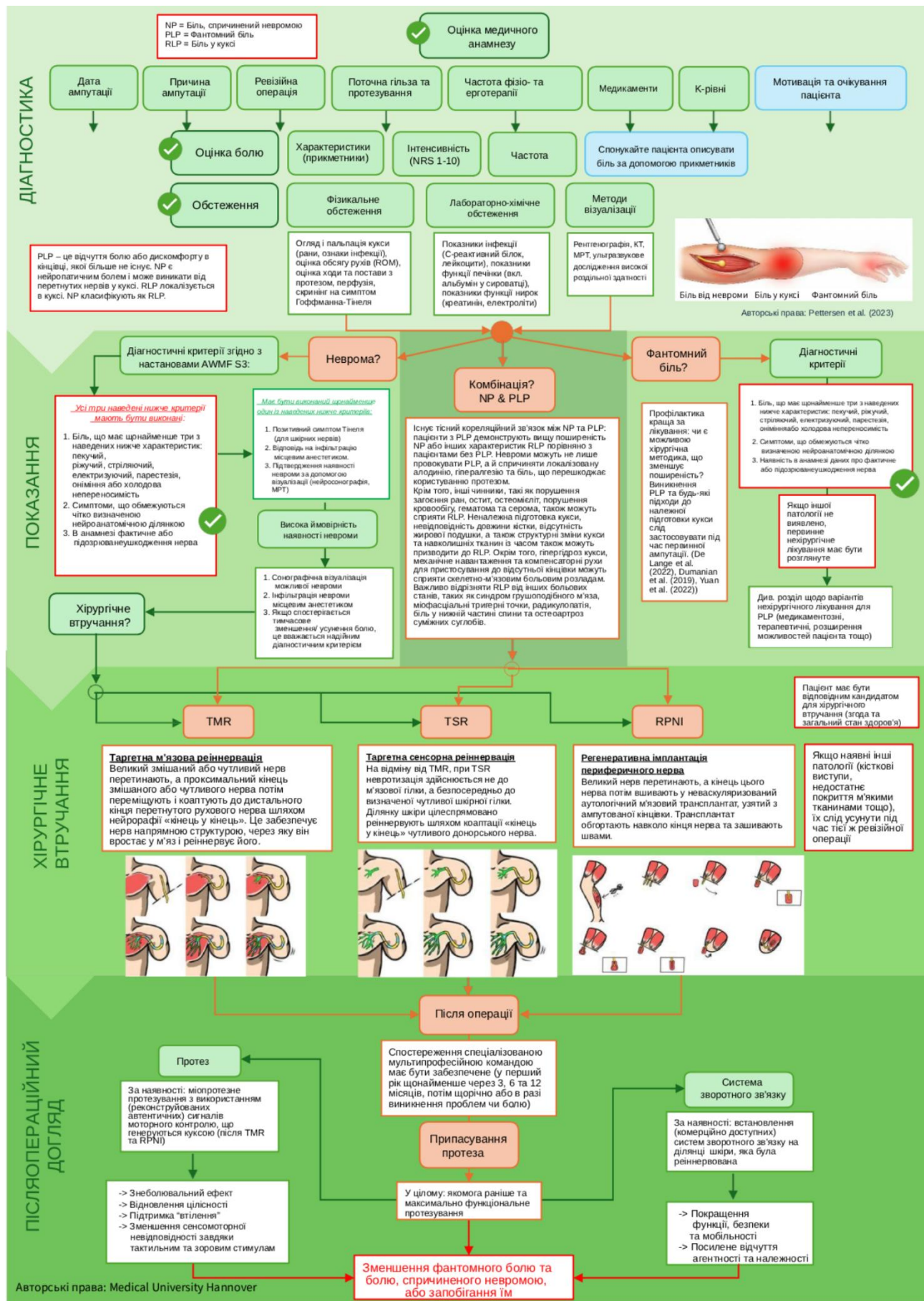


Рисунок 12: Алгоритм діагностики та лікування фантомного болю (Copyright: Jennifer Ernst, Marlene Arlt, MHN)

IV Післяопераційний догляд

4.1	Рекомендація	адапована/нова
Ступінь рекомендації: GoR B	Нервові шви слід захищати від тиску, форсованого згинання та будь-яких рухів, що створюють надмірне навантаження на мікрошов, протягом трьох тижнів. <i>Джерела:</i> Dellon und Mackinnon (1986) LoE IV Krishnan et al. (2005) LoE IV Mackinnon et al. (1985) LoE III	
Рівень доказовості: IV	Сила консенсусу:	

4.1

Повністю не погоджуюсь	Не згоден	Нейтрально	Згоден	Повністю погоджуюсь

4.2	Рекомендація	адапована/нова
Ступінь рекомендації: GoR 0	Тривале динамічне спостереження за пацієнтами з ампутацією та ревізійні операції при стійко симптомних кінцівках можуть суттєво покращити користування протезом, функцію та якість життя. <i>Джерела:</i> Tintle et al. (2016) LoE V	
Рівень доказовості: V	Сила консенсусу:	

4.2

Повністю не погоджуюсь	Не згоден	Нейтрально	Згоден	Повністю погоджуюсь

4.3	Рекомендація	адапована/нова
Ступінь рекомендації: GoR A	Кваліфікований підхід мультидисциплінарної команди до тривалого динамічного спостереження за пацієнтами після ампутації є обов'язковим для максимізації результатів. <i>Джерела:</i> World Health Organization. (2017). WHO standards for prosthetics and orthotics LoE I American Academy of Orthopaedic Surgeons. (2019). Management of limb amputations LoE I	
Рівень доказовості: I	Сила консенсусу:	

4.3

Повністю не погоджуюсь	Не згоден	Нейтрально	Згоден	Повністю погоджуюсь

4.4	Рекомендація	адаптована/нова
Ступінь рекомендації: GoR A	Пацієнта слід забезпечити функціональним протезом якомога швидше після операції.	
	Джерела: World Health Organization. (2017). WHO standards for prosthetics and orthotics LoE I American Academy of Orthopaedic Surgeons. (2019). Management of limb amputations LoE I	
Рівень доказовості: I	Сила консенсусу:	

4.4

Повністю не погоджуюсь	Не згоден	Нейтрально	Згоден	Повністю погоджуюсь

Розділ 4: Особливості ампутацій, пов'язаних з бойовими діями

Особливі міркування в бойовій хірургії

Бойова політравма створює унікальні виклики, особливо в контексті поранень, отриманих унаслідок вибухів саморобних вибухових пристроїв. Ці поранення, часто ускладнені проникаючою травмою від вогню зі стрілецької зброї, проявляються характерною картиною ран із широким ушкодженням тканин та втратою кінцівки.⁵⁸ Анатомічне руйнування, спричинене вибуховими або проникаючими пораненнями, може призводити до травми нервової системи та подальшого нейропатичного болю в різних частинах тіла.^{59,60}

У сфері бойової хірургії час та особливі міркування мають вирішальне значення в прагненні до досягнення оптимальних результатів для постраждалих осіб. Часова чутливість є першочерговою на полі бою, де своєчасна медична допомога може бути визначальним фактором між життям і смертю. Крім того, обмеженість ресурсів, складні умови роботи та необхідність визначення пріоритетності критичних випадків підкреслюють критичну важливість швидкого й ефективного ухвалення рішень під час бойових хірургічних втручань. Медичний персонал має бути добре підготовленим, адаптивним і здатним ухвалювати швидкі та обґрунтовані рішення, щоб максимізувати шанси на виживання й одужання поранених.⁵⁸⁻⁶⁰

На полі бою:

У контексті бойових умов навчання щодо застосування турнікета має вирішальне значення для запобігання коротким ампутаціям. Турнікет може бути використаний для створення тиску на кінцівку з метою контролю за сильною кровотечею, тим самим запобігаючи подальшому ушкодженню та знижуючи ризик проведення ампутації. Належна підготовка щодо накладання турнікета та обізнаність із правильним часом і технікою його застосування можуть істотно вплинути на кінцевий результат бойових поранень. Вкрай важливо, щоб особи, залучені до бойових ситуацій, добре володіли навчанням щодо застосування турнікета в межах своєї медичної підготовки для ефективного реагування на життєзагрозливі ситуації та для мінімізації ризику коротких ампутацій.⁶¹⁻⁶³

Ведення ампутацій після травми має віддавати пріоритет відкритим методикам зі збереження довжини задля збереження довжини кукси та життєздатних тканин. Рекомендовано використання атипових клаптів для збереження цінної довжини кукси та функціональних рівнів суглобів. Зберігайте життєздатні структури та нерви якомога довгими, щоб упровадити хірургічні досягнення (TMR, RPNI) при первинній ампутації. Гільйотинні ампутації призводять до втрати довжини кукси та життєздатних тканин.¹⁰

Тривале динамічне спостереження та потенційна ревізійна операція при стійко

симптомних кінцівках можуть істотно покращити використання протеза, функцію та якість життя. Крім того, врахування супутнього ПТСР та психологічних розладів у межах мультидисциплінарного підходу є необхідним для максимізації результатів. Подальші досягнення, такі як остеointegraція, виявилися життєздатним варіантом для пацієнтів, які відмовилися від носіння протеза через високу частоту виникнення коротких кукс при ампутаціях, пов'язаних із бойовими діями. TMR довела свою ефективність у покращенні інтуїтивної функції протезів верхньої кінцівки, а TMR та RPNI є корисними для запобігання симптомним невромам або їх лікування.^{10,64}

Енергія, пов'язана з травматичними пораненнями, часто призводить до значних дефектів м'яких тканин, вищих рівнів ампутації та посиленого болю після ампутації. Таргетна м'язова реіннервація (TMR) у поєднанні з досягненнями протезних технологій та поточними військовими дослідженнями забезпечує кращі результати, допомагаючи військовослужбовцям на дійсній службі та іншим (молодим) особам з ампутаціями, пов'язаними з війною, досягати своїх цілей. Можливості та сфери застосування TMR та інших досягнень стрімко розширюються завдяки високому рівню хірургічного успіху, технологічним інноваціям у протезному забезпеченні, та сприятливим результатам пацієнтів. Оскільки технології продовжують розвиватися, охоплюючи методики остеointegraції та двоспрямовані нейропротезні пристрої, майбутнє хірургії ампутацій є надзвичайно перспективним, пропонуючи інноваційні рішення для оптимізації результатів у пацієнтів.^{10,64}

V Хірургічні аспекти, пов'язані з бойовими діями

5.1	Рекомендація	адаптована/нова
Ступінь рекомендації: GoR 0	Ампутації після травми слід виконувати відкритим способом зі збереженням довжини; гільйотинні ампутації спричиняють втрату довжини кукси та життєздатних тканин. Подальша ревізія та закриття можуть потребувати використання атипових клаптів для збереження цінної довжини кукси, функціональних рівнів суглобів та інновацій у межах первинної ампутації з метою покращення загального результату та зниження частоти PLP. <i>Джерела:</i> Tintle et al. (2016) LoE V	
Рівень доказовості: V	Сила консенсусу:	

5.1

Повністю не погоджуюсь	Не згоден	Нейтрально	Згоден	Повністю погоджуюсь

5.2	Рекомендація	адаптована/нова
Ступінь рекомендації: GoR B	TMR у поєднанні з досягненнями протезних технологій забезпечує кращі результати, прийняття протеза та допомагає досягти цілей військовослужбовців на дійсній службі. <i>Джерела:</i> Rask et al. (2023) LoE III	
Рівень доказовості: III	Сила консенсусу:	

5.2

Повністю не погоджуюсь	Не згоден	Нейтрально	Згоден	Повністю погоджуюсь

Військова реабілітація

Більшість військового контингенту на момент поранення становлять молоді, здорові, фізично підготовлені чоловіки, які працюють у специфічному психосоціальному середовищі.⁵⁵ Ветерани збройних сил є унікальною популяцією з унікальними потребами охорони здоров'я та самобутньою культурою, що охоплює певні цінності, етос, кодекси поведінки та підпорядкування авторитету.⁵⁶ Крім того, порівняно із загальною популяцією, у них виявлено частіше вживання опіоїдних препаратів та вищий ризик передозування.

Додаткові дані I

Методи

Систематичний пошук літератури було проведено 18 квітня 2024 року в таких базах даних: PubMed, MEDLINE (через PubMed), Cochrane Library та Google Scholar, з використанням таких пошукових термінів:

PubMed та MEDLINE (через PubMed):

((((Neuroma/ OR Neuralgia/ OR Phantom Limb/ OR neuroma*) OR ((neuropathic*[Title/Abstract] OR phantom*[Title/Abstract] OR stump*[Title/Abstract] OR nerve*[Title/Abstract]) ADJ3 (pain*))) AND ((exp Amputation/ OR Amputation Stumps/ OR Amputees/)) OR (amputat*[Title/Abstract] OR disarticulat*[Title/Abstract] OR amputee*[Title/Abstract])) AND (Neuroma* Surgery* OR Neuroma* Treatment* OR Surgery* Phantom Limb Pain*) Filters: MEDLINE, from 2021/11/6 - 2024/4/18

"Regenerative Peripheral Nerve Interface" OR "Regenerative Peripheral Nerve Interfaces" OR "Targeted muscle reinnervation" Filters: MEDLINE, from 2021/11/6 - 2024/4/18 ("Targeted muscle reinnervation") OR ("Regenerative Peripheral Nerve Interface" OR "Regenerative Peripheral Nerve Interfaces") Filters: Randomized Controlled Trial (only PubMed)

Cochrane Library:

((neuroma* OR ((neuropathic* OR phantom* OR stump* OR nerve) NEAR/3 (pain*)))):ti,ab,kw AND ((amputat* OR disarticulat* OR amputee*)):ti,ab,kw (with Cochrane Library publication date from Nov 2021 to Apr 2024, (Word variations have been searched))

Google Scholar:

neuroma OR "neuropathic OR phantom OR stump OR nerve pain" AND amputation OR amputated OR disarticulation OR amputee

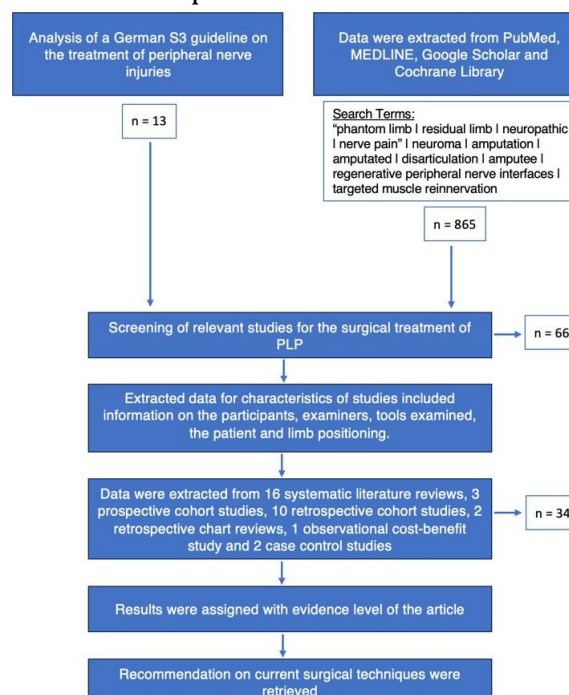


Рисунок 13: На графіку проілюстровано процес проведення пошуку літератури

Систематичний пошук літератури в базах даних виявив загалом 865 результатів. Конкретні пошукові терміни наведено вище. Пошук літератури охоплював дослідження англійською мовою, опубліковані в період з 6 листопада 2021 року по 18 квітня 2024 року. Темою є хірургічні методики лікування невром та зменшення фантомного болю або запобігання йому. Пошук у MEDLINE через PubMed дав 222 результати, пошук у PubMed дав 386 результатів, пошук у Google Scholar дав 200 результатів, а пошук у Cochrane Library дав 75 результатів. Після скринінгу назв і рефератів досліджень з пошуку було виключено 799 результатів. 66 досліджень було оцінено на відповідність критеріям за допомогою повнотекстового скринінгу. Дослідження виключали, якщо не були виконані такі критерії: лише дослідження за участю пацієнтів, без досліджень на тваринах або на трупному матеріалі. Зосередження на пацієнтах із травмами, без досліджень, присвячених виключно пацієнтам з онкологічними захворюваннями, пацієнтам із цукровим діабетом або пацієнтам з іншими захворюваннями. Розглядатимуться лише дослідження з рівнем доказовості (LOE) 1-3. Цей скринінг дозволив виключити з пошуку 32 дослідження. Загалом до цього дослідження було включено 34 дослідження. Таблицю наведено в додатку.

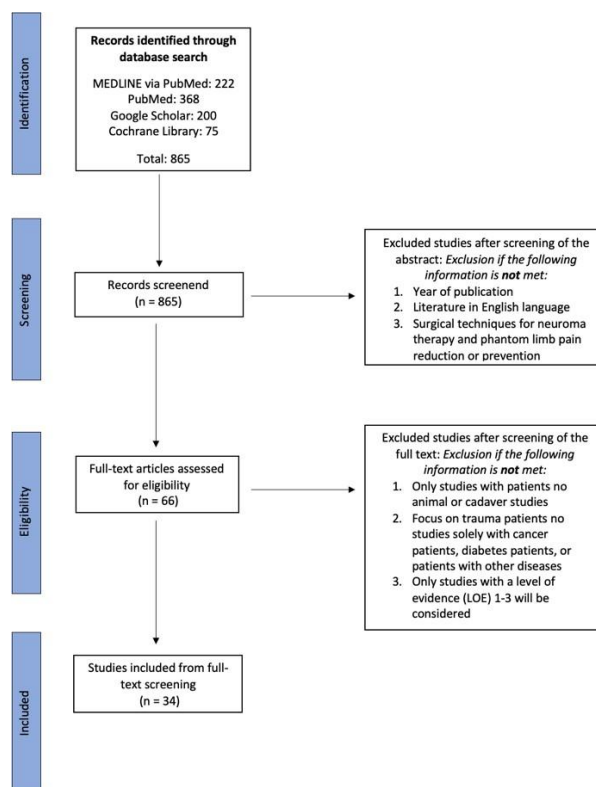


Рисунок 14: Блок-схема PRISMA процесу відбору досліджень, власна ілюстрація на основі роботи Moher et al. (2009)⁶⁵

II Фінансування

Проект PAMELA фінансово підтримується фондом Else Kröner-Fresenius Foundation (номер гранту 2023_EKHA.107).

III Скорочення

CNS	Центральна нервова система
GoR	Ступінь рекомендації
LoE	Рівень доказовості
NP	Біль, спричинений невромією
PLP	Фантомний біль
RLP	Біль у куксі
RPNI	Регенеративні периферичні нервові інтерфейси
TMR	Таргетна м'язова реіннервація
TSR	Таргетна сенсорна реіннервація

IV Список літератури

1. Lorbeer L, Schiessler J, Eberhardt M, Pardo Jr LA, Sehmisch S, Ernst J. Phantomschmerzen: gegenwärtige Behandlungsstrategien. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*. 2024;19(03):249-269. doi:10.1055/a-2177-7974
2. Poppler LH, Parikh RP, Bichanich MJ, et al. Surgical interventions for the treatment of painful neuroma: a comparative meta-analysis. *Pain*. 2018;159(2):214-223. doi:10.1097/j.pain.0000000000001101
3. Eberlin KR, Ducic I. Surgical Algorithm for Neuroma Management: A Changing Treatment Paradigm. *Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open*. 2018;6(10):e1952. doi:10.1097/GOX.0000000000001952
4. S3-Leitlinie. *Versorgung Peripherer Nervenverletzungen - Version 1.0 AWMF-Register Nr. 005/010 (Stand: 06/2013)*. <https://www.yumpu.com/de/document/read/20635821/versorgung-peripherer-nervenverletzungen-awmf>
5. Flor H. Phantom-limb pain: characteristics, causes, and treatment. *The Lancet Neurology*. 2002;1(3):182-189. doi:10.1016/S1474-4422(02)00074-1
6. Dumanian GA, Potter BK, Mioton LM, et al. Targeted Muscle Reinnervation Treats Neuroma and Phantom Pain in Major Limb Amputees: A Randomized Clinical Trial. *Annals of Surgery*. 2019;270(2):238-246. doi:10.1097/SLA.0000000000003088
7. Dellon AL, Mackinnon SE. Treatment of the Painful Neuroma by Neuroma Resection and Muscle Implantation: *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1986;77(3):427-436. doi:10.1097/00006534-198603000-00016
8. Mauch JT, Kao DS, Friedly JL, Liu Y. Targeted muscle reinnervation and regenerative peripheral nerve interfaces for pain prophylaxis and treatment: A systematic review. *PM&R*. 2023;15(11):1457-1465. doi:10.1002/pmrj.12972
9. De Lange JWD, Hundepool CA, Power DM, Rajaratnam V, Duraku LS, Zuidam JM. Prevention is better than cure: Surgical methods for neuropathic pain prevention following amputation – A systematic review. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. 2022;75(3):948-959. doi:10.1016/j.bjps.2021.11.076
10. Tintle SM, LeBrun C, Ficke JR, Potter BK. What Is New in Trauma-Related Amputations. *Journal of Orthopaedic Trauma*. 2016;30(3):S16-S20. doi:10.1097/BOT.0000000000000668
11. Ephraim PL, Wegener ST, MacKenzie EJ, Dillingham TR, Pezzin LE. Phantom Pain, Residual Limb Pain, and Back Pain in Amputees: Results of a National Survey. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2005;86(10):1910-1919. doi:10.1016/j.apmr.2005.03.031
12. Pettersen E, Sassu P, Reinholdt C, et al. Surgical treatments for postamputation pain: study protocol for an international, double-blind, randomised controlled trial. *Trials*. 2023;24(1):304. doi:10.1186/s13063-023-07286-0
13. Brushart TM. *Nerve Repair: The Scientific Basis*. Oxford University Press; 2011.
14. Lee SK, Wolfe SW. Peripheral Nerve Injury and Repair. *JAAOS - Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2000;8(4). https://journals.lww.com/jaaos/fulltext/2000/07000/peripheral_nerve_injury_and_repair.5.aspx
15. Wall PD, Gutnick M. Properties of afferent nerve impulses originating from a neuroma. *Nature*. 1974;248(5451):740-743. doi:10.1038/248740a0
16. Meyer RA, Raja SN, Campbell JN, Mackinnon SE, Dellon AL. Neural activity originating from a neuroma in the baboon. *Brain Research*. 1985;325(1-2):255-260. doi:10.1016/0006-8993(85)90321-X
17. Gstoettner C, Laengle G, Salminger S, Festin C, Platzgummer H, Aszmann OC. Der chi-

- rurgische Umgang mit peripheren Nerven nach Extremitätenverlust. *Orthopäde*. 2021;50(1):14-23. doi:10.1007/s00132-020-04032-1
18. S3-Leitlinie. *Versorgung Peripherer Nervenverletzungen - Prophylaxe Und Behandlung von Neuomen Und Des Neuopathischen Schmerzes Version 2.0 AWMF-Register Nr. 005/010 (Stand: 09/2023)*. <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/005-010>
 19. Hanyu-Deutmeyer AA, Cascella M, Varacallo M. Phantom Limb Pain. In: *StatPearls*. StatPearls Publishing; 2024. Accessed July 4, 2024. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK448188/>
 20. Flor H, Nikolajsen L, Staehelin Jensen T. Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity? *Nat Rev Neurosci*. 2006;7(11):873-881. doi:10.1038/nrn1991
 21. Tham JL, Sood A, Saffari T, Khajuria A. The effect of targeted muscle reinnervation on post-amputation pain and functional outcomes: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Plastic Surgery*. 2022;46:1-23. doi:10.1007/s00238-022-02021-5
 22. Kuiken TA, Barlow AK, Hargrove LJ, Dumanian GA. Targeted Muscle Reinnervation for the Upper and Lower Extremity. *Techniques in Orthopaedics*. 2017;32(2):109-116. doi:10.1097/BTO.0000000000000194
 23. Dellon AL, Aszmann OC. In musculus, veritas? Nerve “in muscle” versus targeted muscle reinnervation versus regenerative peripheral nerve interface: Historical review. *Microsurgery*. 2020;40(4):516-522. doi:10.1002/micr.30575
 24. Scott BB, Winograd JM, Redmond RW. Surgical Approaches for Prevention of Neuroma at Time of Peripheral Nerve Injury. *Front Surg*. 2022;9:819608. doi:10.3389/fsurg.2022.819608
 25. Valerio IL, Dumanian GA, Jordan SW, et al. Preemptive Treatment of Phantom and Residual Limb Pain with Targeted Muscle Reinnervation at the Time of Major Limb Amputation. *Journal of the American College of Surgeons*. 2019;228(3):217-226. doi:10.1016/j.jamcollsurg.2018.12.015
 26. Serino A, Akselrod M, Salomon R, et al. Upper limb cortical maps in amputees with targeted muscle and sensory reinnervation. *Brain*. 2017;140(11):2993-3011. doi:10.1093/brain/awx242
 27. Kuiken TA. Targeted Muscle Reinnervation for Real-time Myoelectric Control of Multi-function Artificial Arms. *JAMA*. 2009;301(6):619. doi:10.1001/jama.2009.116
 28. Souza JM, Fey NP, Cheesborough JE, Agnew SP, Hargrove LJ, Dumanian GA. Advances in Transfemoral Amputee Rehabilitation: Early Experience with Targeted Muscle Reinnervation. *Curr Surg Rep*. 2014;2(5):51. doi:10.1007/s40137-014-0051-4
 29. Ives GC, Kung TA, Nghiem BT, et al. Current State of the Surgical Treatment of Terminal Neuromas. *NEUROSURGERY*. 2018;83(3):354-364. doi:10.1093/neuros/nyx500
 30. Mioton LM, Dumanian GA. Targeted muscle reinnervation and prosthetic rehabilitation after limb loss. *J Surg Oncol*. 2018;118(5):807-814.
 31. Pet MA, Ko JH, Friedly JL, Mourad PD, Smith DG. Does Targeted Nerve Implantation Reduce Neuroma Pain in Amputees? *Clinical Orthopaedics & Related Research*. 2014;472(10):2991-3001. doi:10.1007/s11999-014-3602-1
 32. Pettersen E, Sassu P, Pedrini FA, et al. Targeted Muscle Reinnervation: Surgical Protocol for a Randomized Controlled Trial in Postamputation Pain. *JoVE*. 2024;(205):66379. doi:10.3791/66379
 33. Felder JM, Pripotnev S, Ducic I, Skladman R, Ha AY, Pet MA. Failed Targeted Muscle Reinnervation: Findings at Revision Surgery and Concepts for Success. *Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open*. 2022;10(4):e4229. doi:10.1097/GOX.00000000000004229
 34. Markovic M, Schweisfurth MA, Engels LF, et al. The clinical relevance of advanced artificial feedback in the control of a multi-functional myoelectric prosthesis. *J NeuroEngineering Rehabil*. 2018;15(1):28. doi:10.1186/s12984-018-0371-1

35. Sensinger JW, Dosen S. A Review of Sensory Feedback in Upper-Limb Prostheses From the Perspective of Human Motor Control. *Front Neurosci.* 2020;14:345. doi:10.3389/fnins.2020.00345
36. Raspopovic S, Valle G, Petrini FM. Sensory feedback for limb prostheses in amputees. *Nat Mater.* 2021;20(7):925-939. doi:10.1038/s41563-021-00966-9
37. Gardetto A, Baur EM, Prahm C, et al. Reduction of Phantom Limb Pain and Improved Proprioception through a TSR-Based Surgical Technique: A Case Series of Four Patients with Lower Limb Amputation. *JCM.* 2021;10(17):4029. doi:10.3390/jcm10174029
38. Bernhart S, Kranzinger S, Berger A, Peternell G. Ground Contact Time Estimating Wearable Sensor to Measure Spatio-Temporal Aspects of Gait. *Sensors.* 2022;22(9):3132. doi:10.3390/s22093132
39. Hebert JS, Olson JL, Morhart MJ, et al. Novel Targeted Sensory Reinnervation Technique to Restore Functional Hand Sensation After Transhumeral Amputation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2014;22(4):765-773. doi:10.1109/TNSRE.2013.2294907
40. Kuiken TA, Miller LA, Lipschutz RD, et al. Targeted reinnervation for enhanced prosthetic arm function in a woman with a proximal amputation: a case study. *The Lancet.* 2007;369(9559):371-380. doi:10.1016/S0140-6736(07)60193-7
41. Hebert JS, Elzinga K, Chan KM, Olson J, Morhart M. Updates in Targeted Sensory Reinnervation for Upper Limb Amputation. *Curr Surg Rep.* 2014;2(3):45. doi:10.1007/s40137-013-0045-7
42. Woo SL, Kung TA, Brown DL, Leonard JA, Kelly BM, Cederna PS. Regenerative Peripheral Nerve Interfaces for the Treatment of Postamputation Neuroma Pain: A Pilot Study. *Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open.* 2016;4(12):e1038. doi:10.1097/GOX.0000000000001038
43. Kung TA, Langhals NB, Martin DC, Johnson PJ, Cederna PS, Urbanek MG. Regenerative Peripheral Nerve Interface Viability and Signal Transduction with an Implanted Electrode. *Plastic & Reconstructive Surgery.* 2014;133(6):1380-1394. doi:10.1097/PRS.0000000000000168
44. Kubiak CA, Kemp SWP, Cederna PS. Regenerative Peripheral Nerve Interface for Management of Postamputation Neuroma. *JAMA Surg.* 2018;153(7):681. doi:10.1001/jamasurg.2018.0864
45. Pettersen E, Sassu P, Pedrini FA, et al. Regenerative Peripheral Nerve Interface: Surgical Protocol for a Randomized Controlled Trial in Postamputation Pain. *JoVE.* 2024;(205):66378. doi:10.3791/66378
46. Isbester KA, Ferrin P, Krakauer KN, Peters BR. Primary Regenerative Peripheral Nerve Interfaces Using Devascularized Vastus Lateralis Muscle in Sensate Anterolateral Thigh Flap Donor Sites. *Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open.* 2023;11(9):e5241. doi:10.1097/GOX.00000000000005241
47. Krishnan KG, Pinzer T, Schackert G. Coverage of Painful Peripheral Nerve Neuromas with Vascularized Soft Tissue: Method and Results. *Operative Neurosurgery.* 2005;56(suppl_4):ONS-369-ONS-378. doi:10.1227/01.NEU.0000156881.10388.D8
48. Mackinnon SE, Dellon AL, Hudson AR, Hunter DA. Alteration of Neuroma Formation by Manipulation of Its Microenvironment: *Plastic and Reconstructive Surgery.* 1985;76(3):345-352. doi:10.1097/00006534-198509000-00001
49. Yan H, Gao W, Pan Z, Zhang F, Fan C. The Expression of α -SMA in the Painful Traumatic Neuroma: Potential Role in the Pathobiology of Neuropathic Pain. *Journal of Neurotrauma.* 2012;29(18):2791-2797. doi:10.1089/neu.2012.2502
50. Erlenwein J, Diers M, Ernst J, Schulz F, Petzke F. Clinical updates on phantom limb pain. *PR9.* 2021;6(1):e888. doi:10.1097/PR9.0000000000000888
51. Dietrich C, Nehrdich S, Seifert S, et al. Leg Prosthesis With Somatosensory Feedback Reduces Phantom Limb Pain and Increases Functionality. *Front Neurol.* 2018;9:270.

- doi:10.3389/fneur.2018.00270
52. Rognini G, Petrini FM, Raspopovic S, et al. Multisensory bionic limb to achieve prosthesis embodiment and reduce distorted phantom limb perceptions. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2019;90(7):833-836. doi:10.1136/jnnp-2018-318570
 53. Schweisfurth MA, Markovic M, Dosen S, Teich F, Graimann B, Farina D. Electrotactile EMG feedback improves the control of prosthesis grasping force. *J Neural Eng*. 2016;13(5):056010. doi:10.1088/1741-2560/13/5/056010
 54. Petrini FM, Bumbasirevic M, Valle G, et al. Sensory feedback restoration in leg amputees improves walking speed, metabolic cost and phantom pain. *Nat Med*. 2019;25(9):1356-1363. doi:10.1038/s41591-019-0567-3
 55. Defence Statistics: Ministry of Defence. UK armed forces biannual diversity statistics. Whitehall: Analysis (Tri-Service). Published online 2022.
 56. Olenick M, Flowers M, Diaz V. US veterans and their unique issues: enhancing health care professional awareness. *AMEP*. Published online December 2015:635. doi:10.2147/AMEP.S89479
 57. Toblin RL, Quartana PJ, Riviere LA, Walper KC, Hoge CW. Chronic Pain and Opioid Use in US Soldiers After Combat Deployment. *JAMA Intern Med*. 2014;174(8):1400. doi:10.1001/jamainternmed.2014.2726
 58. Smith S, Devine M, Taddeo J, McAlister VC. Injury profile suffered by targets of anti-personnel improvised explosive devices: prospective cohort study. *BMJ Open*. 2017;7(7):e014697. doi:10.1136/bmjopen-2016-014697
 59. Eckhoff MD, Craft MR, Nicholson TC, Nesti LJ, Dunn JC. Lower Extremity Combat Sustained Peripheral Nerve Injury in US Military Personnel. *Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open*. 2021;9(3):e3447. doi:10.1097/GOX.00000000000003447
 60. Mercer S, Chavan S, Tong J, Connor D, De Mello W. The Early Detection and Management of Neuropathic Pain Following Combat Injury. *J R Army Med Corps*. 2009;155(2):94-98. doi:10.1136/jramc-155-02-03
 61. Navein J, Coupland R, Dunn R. The Tourniquet Controversy. *Journal of Trauma: Injury, Infection & Critical Care*. 2003;54(5):S219-S220. doi:10.1097/01.TA.0000047202.16935.E9
 62. Spreadborough PJ, Strong AL, Mares J, Levi B, Davis TA. Tourniquet use following blast-associated complex lower limb injury and traumatic amputation promotes end organ dysfunction and amplified heterotopic ossification formation. *J Orthop Surg Res*. 2022;17(1):422. doi:10.1186/s13018-022-03321-z
 63. Deloughry JL, Griffiths R. Arterial tourniquets. *Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain*. 2009;9(2):56-60. doi:10.1093/bjaceaccp/mkp002
 64. Rask DMG, Adams MH, Liverneaux P, et al. Targeted muscle reinnervation in upper extremity amputation in military hand surgery: A systematic review. *Hand Surgery and Rehabilitation*. 2023;42(5):392-399. doi:10.1016/j.hansur.2023.07.006
 65. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med*. 2009;6(7):e1000097. doi:10.1371/journal.pmed.1000097

V Конфлікт інтересів

	Консультаційна та експертна діяльність	Участь у науковій дорадчій раді	Оплачувана лекційна або навчальна діяльність	Оплачуване авторство або співавторство	Дослідницькі проекти/ проведення клінічних досліджень	Майнові інтереси (патент, авторське право, володіння акціями)	Непрямі інтереси (членство у фаховому товаристві)
Ім'я: д-р Jennifer Ernst	☒ так ☐ ні	☒ так Зазначте: проєкт ERC (дорадча рада) ☐ ні	☒ так ☐ ні	☐ так ☒ ні	☒ так Зазначте: дослідницький проєкт IITs Ottobock SE & Co. KGaA ☐ ні	☒ так ☐ ні	☐ так Зазначте: ☒ ні
Ім'я: Marlene Arlt	☐ так ☒ ні	☐ так Зазначте: ☒ ні	☐ так ☒ ні	☐ так ☒ ні	☐ так Зазначте: ☒ ні	☐ так ☒ ні	☐ так Зазначте: ☒ ні
Ім'я	☐ так ☐ ні	☐ так Зазначте: ☐ ні	☐ так ☐ ні	☐ так ☐ ні	☐ так Зазначте: ☐ ні	☐ так ☐ ні	☐ так Зазначте: ☐ ні
Ім'я	☐ так ☐ ні	☐ так Зазначте: ☐ ні	☐ так ☐ ні	☐ так ☐ ні	☐ так Зазначте: ☐ ні	☐ так ☐ ні	☐ так Зазначте: ☐ ні

VI Додаток

Автор	Назва	Цитування у стилі APA	Твердження	Дизайн дослідження	Розмір когорти	Рівень ампутації	Тривалість дослідження	Зареєстрований результат	Первинна (профілактична) або вторинна (лікувальна) ампутація	Зменшення RLP/NP	Зменшення PLP	Рівень доказовості (LOE)
Tham, J., Sood, A., Saffari, T. M. & Khajuria, A.	Вплив таргетної м'язової реіннервації на біль після ампутації і функціональні результати: систематичний огляд та метааналіз	Tham, J., Sood, A., Saffari, T. M. & Khajuria, A. (2023). The effect of targeted muscle reinnervation on post-amputation pain and functional outcomes: a systematic review and meta-analysis. European Journal Of Plastic Surgery, 46(4), 475–497. https://doi.org/10.1007/s00238-022-02021-5	Попри різну якість дослідження, об'єднаний аналіз демонструє значуще зменшення RLP та PLP в усіх доменах PROMIS і значуще зниження показників NRS у групі TMR. Крім того, TMR засвідчила покращення функціональних результатів у осіб з ампутацією.	Систематичний огляд та метааналіз	10 досліджень; 943 пацієнтів	н/д	Середнє: 17,9 міс. Діапазон: 9,6 - 24,0 міс.	Оцінки болю (оцінки PROMIS та NRS), покращення функції кінцівки, частота ускладнень, застосування знеболювальних препаратів та частота повторних звернень	Вторинна	RLP: Середня різниця становила – 2.68 (p < 0.0001) на користь групи TMR	PLP: Середня різниця: – 2.17 (p < 0.0001) на користь групи TMR	Ia або IIa
Hagiga, A., Aly, M., Guma, M., Rehan Youssef, A., & Cubison, T.	Таргетна м'язова реіннервація у лікуванні болю, пов'язаного з ампутацією: систематичний огляд і метааналіз	Hagiga, A., Aly, M., Guma, M., Rehan Youssef, A., & Cubison, T. (2023). Targeted muscle reinnervation in managing post-amputation related pain: A systematic review and meta-analysis. Pain practice : the official journal of World Institute of Pain, 23(8), 922–932. https://doi.org/10.1111/papr.13262	Існують обмежені докази доброї якості на користь TMR у зменшенні постампуційного PLP та RLP болю порівняно зі стандартним лікуванням. Рекомендується проведення рандомізованих клінічних досліджень для порівняння ефективності різних хірургічних методик	Систематичний огляд та метааналіз	5 досліджень; 127 пацієнтів	н/д	12 міс. Динамічне спостереження	Доопераційні та післяопераційні результати щодо болю (NRS та PROMIS)	Вторинна	Оцінка RLP за допомогою PROMIS показала значно нижчу інтенсивність болю у групі TMR Значення р вважалося таким, що є меншим або рівним 0.05.	Група TMR: Значно кращий PLP, оцінений за допомогою NRS та PLP, оцінений за допомогою PROMIS, значно нижча інтенсивність болю Значення р вважалося таким, що є меншим або рівним 0.05.	IIa

Berger, L. E., Shin, S., Haffner, Z. K., Huffman, S. S., Spoer, D. L., Sayyed, A. A., Franzoni, G., Bekeny, J. C., Attinger, C. E., & Kleiber, G. M.	Застосування таргетної м'язової реіннервації при ампутаціях нижньої кінцівки: систематичний огляд	Berger, L. E., Shin, S., Haffner, Z. K., Huffman, S. S., Spoer, D. L., Sayyed, A. A., Franzoni, G., Bekeny, J. C., Attinger, C. E., & Kleiber, G. M. (2023). The application of targeted muscle reinnervation in lower extremity amputations: A systematic review. <i>Microsurgery</i> , 43(7), 736–747. https://doi.org/10.1002/micr.31030	Застосування TMR при ампутаціях нижніх кінцівок є ефективним у зменшенні PLP та RLP з обмеженою кількістю ускладнень. Необхідні подальші дослідження для кращого розуміння результатів у пацієнтів залежно від анатомічної локалізації з використанням валідованих показників результатів, повідомлених пацієнтом (PROM).	Систематичний огляд літератури	11 досліджень; 318 пацієнтів	Нижня кінцівка	н/д	Результати, повідомлені пацієнтами (NRS & опитувальники), функціональний результат & ускладнення	н/д	NP: Післяопераційний розвиток невроми у 7.2% випадків Ефективний у зменшенні RLP	Ефективний у зменшенні PLP	Ila
ElAbd, R., Dow, T., Jabori, S., Alhalabi, B., Lin, S. J., & Dowlatshahi, S.	Больові та функціональні результати після таргетної м'язової реіннервації: систематичний огляд	ElAbd, R., Dow, T., Jabori, S., Alhalabi, B., Lin, S. J., & Dowlatshahi, S. (2024). Pain and Functional Outcomes following Targeted Muscle Reinnervation: A Systematic Review. <i>Plastic and reconstructive surgery</i> , 153(2), 494–508. https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000010598	Дані літератури свідчать, що TMR є перспективним методом лікування для зменшення болю, покращення користування протезом та функціональних результатів після ампутації кінцівки.	Систематичний огляд літератури	39 досліджень; 449 TMR пацієнтів, 716 пацієнтів контрольної групи	Група TMR: 309 ампутацій нижніх кінцівок і 159 ампутацій верхніх кінцівок Контрольна група: 557 ампутацій нижніх кінцівок і 108 ампутацій верхніх кінцівок	Середнє: 25 міс.	Біль, керування протезом, якість життя, функція кінцівки та інвалідизація	н/д	RLP: Показники були нижчими у випадках щодо інтенсивності, поведінки та впливу, але вони не досягли рівня значущості	Оцінки PLP були нижчими на 10.2 бала за інтенсивністю ($p = 0.01$), 4.67 бала за поведінкою ($p = 0.01$) та 8.9 бала за впливом ($p = 0.09$)	Ila
Chou, J., Liston, J. M., & DeGeorge, B. R.	Традиційні стратегії лікування невроми: систематичний огляд	Chou, J., Liston, J. M., & DeGeorge, B. R. (2023). Traditional Neuroma Management Strategies: A Systematic Review. <i>Annals of plastic surgery</i> , 90(6S Suppl 4), S350–S355. https://doi.org/10.1097/SAP.00000000000003342	Пасивні методи лікування можуть забезпечити надійне полегшення болю у належно відібраних пацієнтів, але не дають змоги для регенерації нерва. Тому активні реконструктивні методи слід застосовувати за можливості.	Систематичний огляд та метааналіз	22 досліджень	н/д	н/д	Біль та функціональні результати	н/д	NP: Пасивні методи лікування можуть забезпечити надійне полегшення болю у належно відібраних пацієнтів, але не дають змоги для регенерації нерва	н/д	Ila

Fulton, Z. W., Boothby, B. C., & Phillips, S. A.	Таргетна м'язова реіннервація у пацієнтів з ампутаціями внаслідок травми: систематичний огляд	Fulton, Z. W., Boothby, B. C., & Phillips, S. A. (2022). Targeted Muscle Reinnervation for Trauma-Related Amputees: A Systematic Review. Cureus, 14(8), e28474. https://doi.org/10.7759/cureus.28474	TMR – це методика, що застосовується у пацієнтів з ампутаціями та може позитивно впливати на біль при невромі, фантомний біль, біль у куксі й потенційно на вживання наркотичних анальгетиків та носіння протеза. TMR, виконана в гострому або відтермінованому періоді в цій популяції, має однаково покращені результати щодо болю та функції. Проведено обмежену кількість високоякісних досліджень TMR у популяції з травмами. Ця сфера значно виграла б від подальших досліджень.	Систематичний огляд літератури	6 досліджень	н/д	Середнє : 14,55 міс.	Використання протеза, вживання опіоїдів після TMR, PROMIS та NRS оцінки для фантомного болю та болю у куксі й загальне усунення/зменшення болю	Первинна та вторинна	NP: Усунення болю при невромі у 88.2% пацієнтів. Середнє: 86.2%, первинна TMR 91.7%, вторинна TMR 84.2% Загальне зменшення болю/його усунення у 92.9% пацієнтів: Середнє: 90.7, первинна TMR 91.4%, вторинна TMR 90.1%	н/д	Ila
Yuan, M., Gallo, M., Gallo, L., Huynh, M., McRae, M., McRae, M., Thoma, A., Coroneos, C. J. & Voineskos, S. H.	Таргетна м'язова реіннервація та регенеративні периферичні нервові інтерфейси порівняно зі стандартним веденням у лікуванні ампутації кінцівки: систематичний огляд і метааналіз	Yuan, M., Gallo, M., Gallo, L., Huynh, M., McRae, M., McRae, M., Thoma, A., Coroneos, C. J. & Voineskos, S. H. (2022). Targeted Muscle Reinnervation and Regenerative Peripheral Nerve Interfaces Versus Standard Management in the Treatment of Limb Amputation: A Systematic Review and Meta-Analysis. Plastic Surgery, 229255032211074. https://doi.org/10.1177/22925503221107462	Дані обсерваційних досліджень свідчать, що первинна TMR/RPNI зменшує частоту, оцінки болю та оцінки PROMIS для PLP та RLP. Ці дані також свідчать, що первинна TMR/RPNI може зменшувати частоту невром, але це не досягло статистичної значущості. Хірурги повинні зважувати невизначеність доказів разом з потенційною шкодою та користю, коли розглядають можливість застосування первинної TMR/RPNI у хірургічному лікуванні великих ампутацій кінцівок. Надалі необхідні рандомізовані дослідження для оцінки цього наукового питання, зокрема для підвищення певності доказів.	Систематичний огляд та метааналіз	11 досліджень	н/д	н/д (пошук проведено 1 червня 2021, дослідження з 1946 по червень 2021)	Частота невром, фантомного болю та болю у куксі. Тяжкість болю, інтенсивність болю, поведінка та вплив для PLP і RLP (PROMIS)	Первинна	NP: Докази дослідження свідчать, що TMR/RPNI може призвести до значного зменшення частоти утворення невром, але це обмежено в цьому дослідженні через докази лише з одного дослідження RLP: Докази свідчать, що первинна TMR може призвести до значного зменшення частоти RLP	Наявні дані свідчать, що первинна TMR, ймовірно, зумовлює, а RPNI може зумовити значне зниження частоти виникнення PLP	Ila

Ryan, C., Bhanja, D., McNutt, S., Dag-gubati, L. & Rizk, E.	Оцінка доказів: систематичний огляд таргетної м'язової реіннервації щодо фантомного болю та болю у куксі після ампутації	Ryan, C., Bhanja, D., McNutt, S., Daggubati, L. & Rizk, E. (2022). 139 Evaluating the Evi-dence: A Systematic Re-view of Targeted Mus-cle Reinnervation for Post-Amputation Phan-tom and Residual Limb Pain. Neurosur-gery/Neurosurgery On-line, 68(Supplement_1), 41. https://doi.org/10.1227/neu.0000000000001880_139	Доказів недостатньо, і вони низької якості, щоб рекомендувати TMR замість стандартного висічення невроми з метою зменшення проявів PAR. Дані літератури залишаються суперечливими через відсутність даних валідованих шкал болю та варіабельність результатів залежно від локалізації ампутації/ TMR . Це підкреслює важливість створення національного реєстру для порівняння результатів між хірургічними методиками.	Систематичний огляд літератури	23 дослідження : 1 дослідження LOE 1 (РКД), 3 досліджен-ня LOE 2 та 19 дослі-джень LOE 4	н/д	н/д (пошук до березн-я 2021)	Зникнення болю, рівень ампутації, час від ампутації до TMR, час від TMR до динамічного спостереження та наведені шкали болю (NRS та PROMIS)	Вторинна	Доказів недостатньо, і вони низької якості, щоб рекомендувати TMR замість стандартного висічення невроми для зменшення фантомного болю та болю у куксі після ампутації	Доказів недостатньо, і вони низької якості, щоб рекомендувати TMR замість стандартного висічення невроми для зменшення фантомного болю та болю у куксі після ампутації	Ila
Le, E., Greyson, M. A., Constantine, R. S. & Iorio, M. L.	Огляд результатів лікування болю після таргетної м'язової реіннервації при больовому синдромі нижньої кінцівки	Le, E., Greyson, M. A., Constantine, R. S. & Iorio, M. L. (2022). A re-view of pain outcomes following targeted mus-cle reinnervation in lower extremity limb pain. Pastic And Aest-hetic Research, 9(9), 55. https://doi.org/10.20517/2347-9264.2022.47	Первинна та вторинна TMR дійсно запобігає та зменшує PLP, RLP та GLP; проте лише меншість з досліджень повідомляє про кількісно оцінені результати щодо болю. Усі майбутні TMR дослідження мають включати валідовані результати щодо болю для точнішої кількісної оцінки очікуваного зменшення болю та поліпшення якості життя після TMR нижньої кінцівки	Систематичний огляд літератури	10 досліджень, 414 пацієнтів	341 нижня кінцівка 90 верхніх кінцівок	н/д (пошук з січня 1997 до квітня 2022)	Результат щодо болю (NRS & PROMIS)	Первинна та вторинна	Середні бали PROMIS первинної TMR для PLP та RLP були нижчими, ніж у пацієнтів після ампутації без первинної TMR. Середні бали NRS та бали PROMIS Pain при вторинній TMR продемонструва-ли поліпшення щодо PLP, RLP та GLP (загальний біль у кінцівці). Первинна та вторинна TMR дійсно запобігає та зменшує PLP, RLP, а також GLP; проте меншість з досліджень повідомляє про кількісно оцінені результати щодо болю.	Середні бали PROMIS первинної TMR для PLP та RLP були нижчими, ніж у пацієнтів після ампутації без первинної TMR. Середні бали NRS та бали PROMIS Pain при вторинній TMR продемонструва-ли поліпшення щодо PLP, RLP та GLP (загальний біль у кінцівці). Первинна та вторинна TMR дійсно запобігає та зменшує PLP, RLP, а також GLP; проте меншість з досліджень повідомляє про кількісно оцінені результати щодо болю.	Ila

Power, D., Curtin, C., Bellemère, P., Nyman, E., Pajardi, G., Isaacs, J., & Levin, L. S.	Хірургічне лікування симптомної кінцевої невроми із застосуванням нового біорезорбованого кополіефірного пристрою для закриття нерва: багатоцентрове проспективне когортне дослідження	Power, D., Curtin, C., Bellemère, P., Nyman, E., Pajardi, G., Isaacs, J., & Levin, L. S. (2023). Surgical Treatment of Symptomatic End-Neuroma With a New Bioresorbable Copolyester Nerve Capping Device: A Multicenter Prospective Cohort Study. <i>Annals of plastic surgery</i> , 91(1), 109–116. https://doi.org/10.1097/SAP.00000000000003596	Лікування кінцевої невроми шляхом висічення та закриття забезпечило тривале значне зменшення зареєстрованого болю, неприцездатності та застосування анальгетиків. Частота небажаних явищ була низькою	Проспективне когортне дослідження	73 пацієнти (46 пацієнтів завершили 24 міс. динамічного спостереження)	50 верхніх кінцівок 23 нижні кінцівки	24 міс. Динамічне спостереження	Біль (оцінка за VAS-Pain), функція, рецидив симптомної невроми, застосування знеболювальних засобів та небажані явища	Вторинна	NP: Середній VAS-Pain бал на вихідному рівні становив 70.2 ± 17.8 (шкала 0-100) та значно знизився до 31 ± 32.5 ($p < 0.001$)	н/д	IIb
de Lange, J. W. D., Duraku, L. S., Power, D. M., Rajaratnam, V., van der Oest, M. J. W., Selles, R. W., Huygen, F. J. P. M., Hundepool, C. A., & Zuidam, J. M.	Поширеність посттравматичного нейропатичного болю після відновлення пальцевого нерва та ампутації пальця	de Lange, J. W. D., Duraku, L. S., Power, D. M., Rajaratnam, V., van der Oest, M. J. W., Selles, R. W., Huygen, F. J. P. M., Hundepool, C. A., & Zuidam, J. M. (2022). Prevalence of post-traumatic neuropathic pain after digital nerve repair and finger amputation. <i>Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery : JPRAS</i> , 75(9), 3242–3249. https://doi.org/10.1016/j.bjps.2022.06.033	Це дослідження демонструє, що персистуючий біль і нейропатичний біль є поширеними після травми пальця з ушкодженням нерва. Одним із значущих прогностичних факторів розвитку нейропатичного болю є затримка лікування між травмою та часом відновлення пальцевого нерва, що має суттєве клінічне значення для планування хірургічного лікування цих ушкоджень. Затримка лікування понад три тижні асоціюється зі значно вищою ймовірністю розвитку нейропатичного болю, що може змінити наявну клінічну практику; проте необхідно провести проспективне рандомізоване дослідження, щоб підтвердити цей висновок.	Проспективне когортне дослідження	120 пацієнтів	50 пацієнтів з 91 пальцевою ампутацією та 70 пацієнтів з 87 пальцями з відновленням пальцевого нерва	мін. 12 міс. динамічного спостереження, Група ампутації: середнє значення 44 міс. (діапазон 22–97 міс.) та група відновлення нерва: середнє значення 55 міс. (діапазон 18–109 міс.)	Коротка форма DN4 (S-DN4) для оцінки нейропатичного болю, вік, BMI, діабет, тютюнова залежність, сторона лікування, домінантність руки та тип травми: різана чи розчавлення, час між травмою та лікуванням, а також додаткове лікування болю під час динамічного спостереження, наприклад візит до лікаря з лікування болю чи повторна операція	Вторинна	Група ампутації: 32% пацієнтів мали біль (18% нейропатичний біль та 14% ненейропатичний) Група пальцевого нерва: 38% пацієнтів повідомили про біль (14% нейропатичний біль та 24% ненейропатичний)	н/д	IIb

Reid, R. T., Johnson, C. C., Gaston, R. G., & Loeffler, B. J.	Вплив термінів проведення таргетної м'язової реіннервації на біль та вживання опіоїдів після ампутації великого сегмента кінцівки	Reid, R. T., Johnson, C. C., Gaston, R. G., & Loeffler, B. J. (2024). Impact of Timing of Targeted Muscle Reinnervation on Pain and Opioid Intake Following Major Limb Amputation. <i>Hand (New York, N.Y.)</i> , 19(2), 200–205. https://doi.org/10.1177/15589447221107696	TMR є ефективним втручанням для зменшення болю після ампутації великого сегмента кінцівки. Пацієнти, яким TMR виконували невідкладно, мали значно нижчі показники болю VAS як на проміжному, так і на кінцевому етапі динамічного спостереження, ніж пацієнти, яким TMR виконували у відтермінованому порядку.	Проспективне когортне дослідження	43 пацієнти, 25 пацієнтів у групі гострого TMR та 18 пацієнтів у групі відстроченого TMR	н/д	Два динамічні спостереження: 1. 4.-8. міс. після операції 2. ?	Показники болю за VAS та повідомлюване пацієнтами споживання опіоїдів	Вторинна	VAS: Група відстроченого TMR: 5.2 (проміжне) та 6.2 (остаточне) Група гострого TMR: 1.9 (проміжне) та 1.9 (остаточне) Проміжне $p = .01$ Остаточне $p = .002$	н/д	IIb
Lin, Z., Yu, P., Chen, Z., & Li, G.	Регенеративний інтерфейс периферичного нерва зменшує частоту невром на нижніх кінцівках після ампутації: ретроспективне дослідження на основі ультразвукового дослідження	Lin, Z., Yu, P., Chen, Z., & Li, G. (2023). Regenerative peripheral nerve interface reduces the incidence of neuroma in the lower limbs after amputation: a retrospective study based on ultrasound. <i>Journal of orthopaedic surgery and research</i> , 18(1), 619. https://doi.org/10.1186/s13018-023-04116-6	Це дослідження засвідчило, що RPNI може ефективно запобігати утворенню симптоматичної невроми після ампутації за даними ультразвукового дослідження.	Ретроспективне когортне дослідження	14 пацієнтів, 7 RPNI та 7 традиційна ампутація (TA)	14 нижніх кінцівок	3. міс. та 6. міс. та 12 міс. Динамічне спостереження	Загальна інформація, патологія первинного захворювання, анамнез органозбережного лікування кінцівки, рівень ампутації нерва та шкали болю (NRS і MFPGDI)	Первинна	NRS 3 міс.: TA 6.4 $\pm$ 1.1 RPNI 4.3 $\pm$ 1.0 ($p=0.002$) NRS 6 міс.: TA 6.9 $\pm$ 1.3 RPNI 3.1 $\pm$ 0.7 ($p<0.001$) MFPGDI 3 міс.: TA 37.9 $\pm$ 2.3 RPNI 34.7 $\pm$ 2.7 ($p=0.036$) MFPGDI 6 міс.: TA 39.4 $\pm$ 1.1 RPNI 28.4 $\pm$ 1.8 ($p<0.001$)	н/д	III
Maslow, J. I., LeMone, A., Scarola, G. T., Loeffler, B. J., & Gaston, R. G	Ведення пальцевих нервів та профілактика невроми при ампутаціях кисті	Maslow, J. I., LeMone, A., Scarola, G. T., Loeffler, B. J., & Gaston, R. G. (2023). Digital Nerve Management and Neuroma Prevention in Hand Amputations. <i>Hand (New York, N.Y.)</i> , 18(5), 838–844. https://doi.org/10.1177/15589447211065074	Нейрорафія пальцевого нерва «кінець у кінець» є методом профілактики невроми при часткових ампутаціях кисті, що зумовлює зменшення залишкового болю в кисті без збільшення кількості ускладнень. Депресія та статус компенсації працівникам були істотно пов'язані з утворенням симптоматичної невроми.	Ретроспективне когортне дослідження	54 пацієнти	54 верхні кінцівки (ампутація кисті або пальця)	н/д (2010 до 2020)	Розвиток невроми, ревізійне хірургічне втручання, ускладнення та показники болю за візуальною аналоговою шкалою	Первинна	NP: Значно менше пацієнтів повідомляли про персистуючий біль, якщо виконувалася коаптація «кінець у кінець» (0% проти 11.8%, $p < .01$)	н/д	III

Goodyear, E. G., O'Brien, A. L., West, J. M., Huayllani, M. T., Huffman, A. C., Souza, J. M., Schulz, S. A., & Moore, A. M.	Таргетна м'язова реіннервація під час ампутації зменшує повторне утворення симптоматичної невроми	Goodyear, E. G., O'Brien, A. L., West, J. M., Huayllani, M. T., Huffman, A. C., Souza, J. M., Schulz, S. A., & Moore, A. M. (2024). Targeted Muscle Reinnervation at the Time of Amputation Decreases Recurrent Symptomatic Neuroma Formation. Plastic and reconstructive surgery, 153(1), 154–163. https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000010692	Пацієнти, яким гостро виконали TMR, повідомляли про кращі показники болю та нижчу частоту утворення невроми порівняно з TMR, виконаною відстрочено. Ці результати підкреслюють перспективну роль TMR у профілактиці нейропатичного болю та утворення невроми під час ампутації.	Поперечний, ретроспективний огляд медичних карт	103 пацієнти (73 кінцівки з гострим TMR та 32 кінцівки з відстроченим TMR)	н/д	мін. 6 міс. динамічного спостереження, гострий TMR середнє динамічне спостереження: 34,5 міс. відстрочений TMR середнє динамічне спостереження: 40 міс.	Рецидив симптоматичної невроми, хірургічні ускладнення, шкали PROMIS інтенсивності болю, вплив та поведінки та 11-бальна числова рейтингова шкала (NRS) форма	Первинна та вторинна	Рецидив симптоматичних невром: гостро 1%, відстрочено 19% (p < 0.05). Пацієнти з гострим TMR повідомляли про значно нижчу RLP інтенсивність болю за PROMIS (p < 0.05), та RLP PROMIS впливу болю (p < 0.05) показники у порівнянні із відстроченою групою.	Пацієнти з гострим TMR повідомляли про значно нижчий PLP вплив болю за PROMIS (p < 0.05) у порівнянні з відстроченою групою.	III
Lu, V., Zhou, A., & Krkovic, M.	Модифікація методики внутрішньом'язового занурення нервових закінчень для мінімізації нейропатичного та залишкового болю в осіб з ампутацією нижньої кінцівки: ретроспективне когортне дослідження	Lu, V., Zhou, A., & Krkovic, M. (2023). Variation on a technique for the intra-muscular insertion of nerve endings to minimise neuropathic and residual pain in lower limb amputees: a retrospective cohort study. European journal of orthopaedic surgery & traumatology : orthopedie traumatologie, 33(4), 1299–1306. https://doi.org/10.1007/s00590-022-03281-4	Хірургічне занурення нервових закінчень у прилеглі м'язові черевця під час ампутації нижньої кінцівки є простим, але ефективним способом мінімізації PLP та RLP, що покращує подальшу якість життя пацієнтів. Слід провести додаткові порівняння з таргетною м'язовою реіннервацією для визначення оптимального варіанта лікування.	Ретроспективне когортне дослідження	44 пацієнти (8 пацієнтів із занурення м нерва (NI) та 36 пацієнтів зі стандартним лікуванням (контроль))	Нижня кінцівка	мін. 12 міс. динамічного спостереження, середнє динамічне спостереження NI 18,5 міс. та Середнє динамічне спостереження Standard 26,75 міс.	NRS тяжкість болю та PROMIS шкали інтенсивності болю, вплив та поведінки та Neuro-QoL Lower Extremity Function для оцінки мобільності	Первинна	RLP: NRS найсильніший біль NI 2.6 контроль 4.44 (P=0.035). Середні показники «найменшого болю» та «поточного болю» також були кращими в когорті NI для RLP (p = 0.018, p = 0.134). Середні PROMIS t-показники (NI проти контролю): 40.1 проти 49.4 для інтенсивності болю; p = 0.014, 44.4 проти 48.2 для впливу болю; p = 0.085, 42.5 проти 49.9 для поведінки щодо болю; p = 0.025.	PLP: NRS найсильніший біль NI 3.5 контроль 4.89 (P=0.298). Середні показники «найменшого болю» та «поточного болю» також були кращими в когорті NI для PLP (p = 0.003, p = 0.022). Середні PROMIS t-показники (NI проти контролю): 42.5 проти 52.7 для інтенсивності болю; p = 0.018; 45.0 проти 51.5 для впливу болю; p = 0.015, 46.3 проти 51.1 для поведінки щодо болю; p = 0.569	III

Denton, S. R., McBride, C., Hammond, A. P. & LoGiudice, A.	Ранні результати таргетної м'язової реіннервації при травматичних ампутаціях	Denton, S. R., McBride, C., Hammond, A. P. & LoGiudice, A. (2023). Early Outcomes in Targeted Muscle Reinnervation for Traumatic Amputations. Journal Of Reconstructive Microsurgery Open, 08(01), e54–e59. https://doi.org/10.1055/a-2086-5446	Ці результати підтверджують доцільність застосування TMR для зменшення RLP в осіб із травматичною ампутацією. Порівняно з подібною групою, лікованою без TMR у дослідженні порівняння, RLP у цій когорті був значно кращим. Майбутні дослідження мають залучати більше осіб з ампутаціями для аналізу функціональних результатів, особливо в осіб з ампутацією верхньої кінцівки.	Ретроспективне когортне дослідження	17 пацієнтів з TMR, інше РКД дослідження як контрольна група зі стандартною допомогою	н/д	мін. 12 міс. динамічного спостереження	NRS та PROMIS	н/д	RLP: 3 TMR значення зниження показників найсильнішого болю порівняно з групою без TMR	PLP: Найсильніший біль був значно вищим у цій когорті порівняно з групою TMR у дослідженні порівняння.	III
Toyoda, Y., McGraw, J. R., Mah'moud, M., Sulkar, R., Saikali, L., Lopez, S. & Kovach, S. J.	Розвиток нейропатичного болю після первинної TMR та RPNI при ампутації нижньої кінцівки: 4-річний ретроспективний аналіз прогностичних факторів	Toyoda, Y., McGraw, J. R., Mah'moud, M., Sulkar, R., Saikali, L., Lopez, S. & Kovach, S. J. (2024). Development of Neuropathic Pain after Primary TMR and RPNI in Lower Extremity Amputation: A 4-Year Retrospective Analysis of Prognostic Factors. Plastic And Reconstructive Surgery – Global Open, 12(1S1), 18. https://doi.org/10.1097/01.gox.0001005932.81450.aa	Розвиток нейропатичного болю після первинної TMR/RPNI при ампутації нижньої кінцівки не є незначущим. Передопераційні супутні захворювання та рівень ампутації суттєво не впливали на ризик розвитку болю в нашій когорті. Обмеження нашого дослідження включають малий обсяг вибірки, гетерогенність оперованого нерва та мінімальний період спостереження один рік. Подальші дослідження з більшими вибірками пацієнтів і тривалішим спостереженням могли б допомогти виявити пацієнтів із ризиком резистентних нейропатій для розробки стратегії досягнення оптимальних результатів.	Ретроспективне когортне дослідження	68 пацієнтів прооперованих одним хірургом (TMR 36, RPNI 53)	Нижня кінцівка	мін. 12 міс. динамічного спостереження	Демографічні характеристики пацієнтів, супутні захворювання, деталі операції та нейропатичний біль	Первинна	NP: 17 пацієнтів (25%) мали вперше виниклий нейропатичний біль після процедури (медіана: 110 днів; діапазон: 0-979 днів) Серед пацієнтів, у яких розвинулися ці симптоми: TMR: n=2; RPNI n=10; TMR та RPNI n=5	н/д	III

Smith, T. P., Cognetti, D. J., Cook, A., Lynch, T. B., Alderete, J. F., Lybeck, D. O., & Dowd, T. C.	Подібні частоти повторних операцій з приводу невроми після трансгомількових ампутацій із застосуванням та без таргетної м'язової реіннервації	Smith, T. P., Cognetti, D. J., Cook, A., Lynch, T. B., Alderete, J. F., Lybeck, D. O., & Dowd, T. C. (2024). Similar rates of reoperation for neuroma after transtibial amputations with and without targeted muscle reinnervation. OTA international : the open access journal of orthopaedic trauma, 7(1), e297. https://doi.org/10.1097/O19.0000000000000297	Симптоматична неврома є однією з найчастіших причин реампутації; проте це дослідження не змогло продемонструвати різницю в частоті повторних операцій з приводу невроми у пацієнтів, яким виконували первинну трансгомількову ампутацію з таргетною м'язовою реіннервацією або без неї.	Ретроспективне когортне дослідження	112 пацієнтів; 29 з TMR та 83 без TMR	Нижня кінцівка (ТТ)	Медіана: 14,4 міс.	Демографічні дані, показання до ампутації, техніка ампутації, включно з TMR або RPNI, якщо виконувалися, повторні операції та оцінка болю за VAS	Первинна	VAS: 2 тижні після операції TMR: 3.26 ± 2.44 (n = 27), без TMR: 3.33 ± 2.58 (n = 64) без значущої різниці в показниках VAS між групами TMR та без TMR через 2 тижні (p=0.91). 6 тижнів після операції TMR: 2.21 ± 2.20 (n = 28), без TMR: 1.83 ± 2.17 (n = 64) без значущої різниці між TMR та без TMR через 6 тижнів (p=0.43). NP: Частота повторних операцій з приводу невроми TMR: 3.6%, n = 1/28, без TMR: 4.0%, n = 3/75 (p=0.97).	н/д	III
--	---	--	---	-------------------------------------	---------------------------------------	---------------------	--------------------	--	----------	---	-----	-----

Suresh, V., Schaefer, E. J., Calotta, N. A., Giladi, A. M., & Tuffaha, S. H.	Використання васкуляризованих, денервованих м'язових мішеней для профілактики та лікування невром верхньої кінцівки	Suresh, V., Schaefer, E. J., Calotta, N. A., Giladi, A. M., & Tuffaha, S. H. (2022). Use of Vascularized, Denervated Muscle Targets for Prevention and Treatment of Upper-Extremity Neuromas. <i>Journal of hand surgery global online</i> , 5(1), 92–96. https://doi.org/10.1016/j.jhsg.2022.06.001	Це дослідження продемонструвало сприятливі короткострокові результати в невеликій когорті пацієнтів, які отримали лікування VDMT на верхній кінцівці. Потрібні більші, проспективні та порівняльні дослідження з валідованими об'єктивними показниками результату та показниками, повідомленими пацієнтами, а також з тривалішим спостереженням, щоб надалі оцінити переваги VDMT у лікуванні та профілактиці невром верхньої кінцівки.	Ретроспективний огляд медичної документації	9 пацієнтів (2 дитини та 7 дорослих)	Верхня кінцівка (5 трансрадіальних, 1 трансгумеральна)	Динамічне спостереження 5.6 ± 4.1 міс., Діапазон: 0.5-13.2 міс.	VAS оцінка болю	Первинна та вторинна	Післяопераційна оцінка болю: 1.1 (n=7) діапазон, 0-8; (n=6) оцінка болю: 0, (n=1) оцінка болю: 8	(n=2) мали певний ступінь PLP	III
Zamore, Z., Yesantharao, P., Aravind, P., & Dellon, A. L.	Економічний аналіз витрат і вигід "імплантації нерва в м'яз" проти "таргетної м'язової реіннервації" проти "регенеративного інтерфейсу периферичного нерва", для лікування больової невроми	Zamore, Z., Yesantharao, P., Aravind, P., & Dellon, A. L. (2024). Economic Cost-Benefit Analysis of "Nerve Implanted into Muscle" versus "Targeted Muscle Reinnervation" versus "Regenerative Peripheral Nerve Interface", for Treatment of the Painful Neuroma. <i>Journal of reconstructive microsurgery</i> , 10.1055/a-2273-3940. Advance online publication. https://doi.org/10.1055/a-2273-3940	Оцінка витрат і корисності, пов'язаних із різними хірургічними варіантами лікування больових невром, свідчить, що імплантація нерва в м'яз є найдешевшим варіантом з найкращим приростом QALY, демонструючи при цьому результати, порівнянні з TMR та RPNI щодо больових симптомів.	Обсерваційне дослідження витрат і вигід	н/д	н/д	н/д (дані за 2020)	PROMIS, NRS та скориговані за якістю роки життя (QALYs)	н/д	н/д	н/д	III

Chang, B. L., Mondshine, J., Attinger, C. E. & Kleiber, G. M.	Таргетна м'язова реіннервація покращує результати щодо болю та ходьби у пацієнтів з тяжкою коморбідністю після ампутації	Chang, B. L., Mondshine, J., Attinger, C. E. & Kleiber, G. M. (2021). Targeted Muscle Reinnervation Improves Pain and Ambulation Outcomes in Highly Comorbid Amputees. Plastic And Reconstructive Surgery, 148(2), 376–386. https://doi.org/10.1097/prs.00000000000008153	Таргетна м'язова реіннервація зменшує біль і покращує ходьбу в пацієнтів, яким виконують ампутацію нижче коліна, що може мати вирішальне значення для покращення показників захворюваності та смертності в цій коморбідній популяції пацієнтів.	Ретроспективне когортне дослідження	200 пацієнтів, 100 TMR та контрольна група 100	TMR група Нижня кінцівка = 100 Загальна група Нижня кінцівка = 10	TMR: 9,6 ± 5.7 міс. Спостереження, контроль: 18,5 ± 14.5 міс. Динамічне спостереження	Наявність залишкового та фантомного болю в кінцівці, інтенсивність болю, вживання опіоїдів, здатність до ходьби та показники смертності	Первинна	TMR група 14% Загальна група 57% p < 0.01	TMR група 19% Загальна група 47% p < 0.01	III
Kang, N. V., Woollard, A., Michno, D. A., Al-Ajam, Y., Tan, J., & Hansen, E.	Послідовна серія випадків таргетної м'язової реіннервації (TMR) для полегшення неврови та фантомного болю в кінцівці: досвід Великої Британії	Kang, N. V., Woollard, A., Michno, D. A., Al-Ajam, Y., Tan, J., & Hansen, E. (2022). A consecutive series of targeted muscle reinnervation (TMR) cases for relief of neuroma and phantom limb pain: UK perspective. Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery : JPRAS, 75(3), 960–969. https://doi.org/10.1016/j.bjps.2021.09.068	Хірургічне втручання TMR, вочевидь, полегшувало як NP, так і PLP, хоча ретроспективний характер цього дослідження обмежує вагомість цього висновку. Проте частота ускладнень була високою, і вкрай важливо, щоб хірурги та пацієнти повністю розуміли перебіг і результати цієї нової операції до початку лікування.	Ретроспективне когортне дослідження	36 пацієнтів	Верхня кінцівка = 11 Нижня кінцівка = 29	Вихідний рівень, 3, 6 та 12 місяців	Зміни рівнів NP та PLP, хірургічні методики, ускладнення та рівень задоволеності результатами TMR	Вторинна	Верхня кінцівка 53%, p = 0.006 Нижня кінцівка 43.5%, p < 0.0001	Верхня кінцівка 44%, p = 0.007 Нижня кінцівка 26%, p = 0.009	III

Chang, B. L., Hill, A. L., Mondshine, J., Harbour, P. W., Episalla, N. C., Attinger, C. E., & Kleiber, G. M.	Первинна таргетна м'язова реіннервація при ампутаціях вище коліна у пацієнтів із кінцівками, що не підлягають збереженню, внаслідок ішемії або інфекції, що загрожують втратою кінцівки	Chang, B. L., Hill, A. L., Mondshine, J., Harbour, P. W., Episalla, N. C., Attinger, C. E., & Kleiber, G. M. (2024). Primary Targeted Muscle Reinnervation in Above-Knee Amputations in Patients with Unsalvageable Limbs from Limb-Threatening Ischemia or Infection. <i>Journal of reconstructive microsurgery</i> , 40(2), 109–117. https://doi.org/10.1055/a-2086-0395	TMR можна безпечно та ефективно виконувати під час ампутації на рівні через колінний суглоб та вище коліна, і це покращує результати щодо болю.	Ретроспективне когортне дослідження	41 пацієнт з TMR та 58 пацієнтів – контрольна група	Ампутація через колінний суглоб або вище коліна	TMR: січень 2018 – червень 2021, Контроль: січень 2014 – грудень 2017	Супутні захворювання (індекс коморбідності Чарлсона), наявність і відсутність RLP та PLP, загальна вираженість болю, хронічне вживання наркотичних анальгетиків, здатність до пересування та ускладнення	Первинна	RLP: TMR 26.8%, без TMR 44.8% (p=0.04) Загальний біль: TMR 41.5%, без TMR 67.2% (p=0.01)	PLP: TMR 19.5%, без TMR 43.1% (p=0.02)	III
Shammas, R. L., Azoury, S. C., Sergesketter, A. R., Lee, H. J., Poehlein, E., Othman, S. E., Cason, R. W., Levinson, H., Kovach, S. J., & Mithani, S. K.	Первинна таргетна м'язова реіннервація після ампутації нижче коліна не пов'язана з підвищеним ризиком великих або малих хірургічних ускладнень: багатокентровий аналіз із зіставленням за індексом схильності	Shammas, R. L., Azoury, S. C., Sergesketter, A. R., Lee, H. J., Poehlein, E., Othman, S. E., Cason, R. W., Levinson, H., Kovach, S. J., & Mithani, S. K. (2022). Primary Targeted Muscle Reinnervation after Below-Knee Amputation Is Not Associated with an Increased Risk of Major or Minor Surgical Complications: A Multi-Institutional, Propensity Score-Matched Analysis. <i>Plastic and reconstructive surgery</i> , 150(3), 589–598. https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000009441	Попри підвищену частоту післяопераційних ускладнень, виконання ампутації нижче коліна з таргетною м'язовою реіннервацією не зумовлює статистично значущого підвищення ризику великих або малих ускладнень. Потрібні подальші дослідження, щоб визначити критерії відбору пацієнтів при оцінюванні доцільності таргетної м'язової реіннервації під час високої ампутації кінцівки.	Ретроспективне когортне дослідження	96 пацієнтів, 31 з TMR та 65 без	Ампутація нижче коліна	н/д	Частота великих або малих ускладнень протягом 60 днів	Первинна	н/д	н/д	III

Langeveld, M., Bosman, R., Hundepool, C. A., Duraku, L. S., McGhee, C., Zuidam, J. M., Barker, T., Juszczak, M., & Power, D. M.	Фантомний біль у кінцівці та больова неврома після дисваклярної ампутації нижньої кінцівки: систематичний огляд і метааналіз	Langeveld, M., Bosman, R., Hundepool, C. A., Duraku, L. S., McGhee, C., Zuidam, J. M., Barker, T., Juszczak, M., & Power, D. M. (2024). Phantom Limb Pain and Painful Neuroma After Dysvascular Lower-Extremity Amputation: A Systematic Review and Meta-Analysis. Vascular and endovascular surgery, 58(2), 142–150. https://doi.org/10.1177/15385744231197097	Цей метааналіз демонструє високу поширеність фантомного болю в кінцівці після дисваклярної LLA. З огляду на часто тривалий та інвалідизуючий характер нейропатичного болю й труднощі його лікування, більше уваги слід приділяти стратегіям запобігання йому під час ампутації.	Систематичний огляд та метааналіз	12 досліджень; 1924 пацієнти	Нижня кінцівка	н/д (пошук: 5 жовтня 2022)	Наявність PLP та симптоматичної невроми з оцінками болю (VAS та NRS), Kooijman Phantom Pain Questionnaire, Groningen Questionnaire of Problems after Leg Amputation, Dysvascular Conditions Scale Questionnaire, Phantom phenomena questionnaire та Haber's Phantom Limb Questionnaire	Вторинна	69% пацієнтів відчують фантомний біль у кінцівці (95% ДІ 53-86%) NP: 5% у 1 дослідженні	PLP: (0-10) коли-вався від 2.3 ± 1.4 до 5.5 ± .7	Ila
Walsh, A. R., Lu, J., Rodriguez, E., Diamond, S., & Sultan, S. M.	Сучасний стан таргетної м'язової реіннервації: систематичний огляд.	Walsh, A. R., Lu, J., Rodriguez, E., Diamond, S., & Sultan, S. M. (2023). The Current State of Targeted Muscle Reinnervation: A Systematic Review. Journal of reconstructive microsurgery, 39(3), 238–244. https://doi.org/10.1055/s-0042-1755262	Хоча існують докази того, що TMR зменшує біль, пов'язаний з невромою, і покращує якість життя осіб з ампутацією, потрібні подальші дослідження результатів, щоб вивчити досвід пацієнтів із TMR у більшому масштабі. Створення стандартизованих, валідованих інструментів оцінювання результатів, повідомлених пацієнтами, є критично важливим для подальших досліджень у цій галузі.	Систематичний огляд літератури	13 досліджень; 338 пацієнтів	Нижня кінцівка та верхня кінцівка	22,3 міс. Динамічне спостереження	Географічне розташування, демографічні характеристики пацієнтів, показання до TMR, рівень ампутації, кількість виконаних перенесень нервів, тривалість динамічного спостереження та зареєстровані результати (PROMIS та NRS)	Первинна та вторинна	У 3 дослідженнях виявлено, що пацієнти, яким виконували негайну TMR, мали нижчі оцінки болю порівняно з контрольною групою без TMR.	У 3 дослідженнях із відтермінованою TMR: значуще або близьке до значущого зменшення PLP (NRS та PROMIS). Одне дослідження з відтермінованою TMR: у 9/10 пацієнтів спостерігали покращення або повне зникнення PLP.	Ila

Rask, D. M. G., Adams, M. H., Liverneaux, P., Plucknette, B. F., Wilson, D. J., Alderete, J. F., & Sabbag, C. M.	Таргетна м'язова реіннервація при ампутації верхньої кінцівки у військовій хірургії кисті: систематичний огляд	Rask, D. M. G., Adams, M. H., Liverneaux, P., Plucknette, B. F., Wilson, D. J., Alderete, J. F., & Sabbag, C. M. (2023). Targeted muscle reinnervation in upper extremity amputation in military hand surgery: A systematic review. <i>Hand surgery & rehabilitation</i> , 42(5), 392–399. https://doi.org/10.1016/j.hansur.2023.07.006	Проаналізована література виявила численні моторні мішені, описані для TMR верхньої кінцівки, у 51 включеному дослідженні. Проте вибір моторних мішеней залежить від наявності придатних варіантів з огляду на характер ушкоджень і рівні ампутації. Звичайні схеми перенесення нервів дають корисні орієнтири для визначення відповідних моторних мішеней при трансрадіальних і трансгумеральних ампутаціях.	Систематичний огляд літератури	51 дослідження	Верхня кінцівка	н/д	н/д (визначити переважні моторні мішені, з урахуванням характеру ушкоджень і рівнів ампутації)	Вторинна	н/д	н/д	IIa
Carter, J., Richardson, P., Stark, H. & Henton, J.	Регенеративний інтерфейс периферичного нерва у профілактиці та лікуванні постампуційного болю: систематичний огляд	Carter, J., Richardson, P., Stark, H. & Henton, J. (2024). Regenerative peripheral nerve interface in the prevention and treatment of post-amputation pain: a systematic review. <i>European Journal of Plastic Surgery</i> 47, 25. https://doi.org/10.1007/s00238-024-02167-4	Результати цього систематичного огляду свідчать, що регенеративний інтерфейс периферичного нерва слід впроваджувати як мінімальний золотий стандарт під час ампутації та як метод лікування резистентного постампуційного болю.	Систематичний огляд літератури	7 досліджень	н/д	н/д	Ефективність регенеративного інтерфейсу периферичного нерва у профілактиці та лікуванні постампуційного болю в куксі та фантомного болю в кінцівці, а також будь-який вплив на аналгезію та користування протезом	Первинна та вторинна	RLP: Покращення щодо болю у куксі у відповідних профілактичній та лікувальній групах. NP: Дослідження демонструють ефективність застосування RPN у профілактичному запобіганні або лікуванні болю після ампутації шляхом зменшення утворення невром.	RLP: Покращення щодо фантомного болю в кінцівці у відповідних профілактичній та лікувальній групах	IIa

Bishay, J., Yeap, I., & Wang, T.	Ефективність таргетної м'язової реіннервації у зменшенні болю та покращенні якості життя пацієнтів після ампутації нижньої кінцівки	Bishay, J., Yeap, I., & Wang, T. (2024). The effectiveness of targeted muscle reinnervation in reducing pain and improving quality of life for patients following lower limb amputation. Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery : JPRAS, 92, 288–298. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.bjps.2024.03.013	Систематичний огляд підкреслює потенційні переваги TMR у полегшенні болю, сприянні постампуційній реабілітації та покращенні загального добробуту осіб з ампутацією нижньої кінцівки.	Систематичний огляд літератури	20 досліджень	Нижня кінцівка = 584 Верхня кінцівка = 194	н/д (Пошук 2010-2023)	Зменшення болю, функціональні результати та показники якості життя за оцінкою пацієнта (PROMIS & NRS)	Первинна та вторинна	RLP: Первинна TMR демонструвала нижчий середній бал PROMIS. Вторинна TMR привела до покращення щодо RLP та загального болю в кінцівці за оцінкою NRS & PROMIS.	PLP: Первинна TMR демонструвала нижчий середній бал PROMIS. Вторинна TMR привела до покращення щодо PLP, про що свідчать показники NRS & PROMIS	Illa
Di Valerio, E., Lautenslager, L., Vonu, P., Mustafa, C., Chim, H. & Satteson, E.	Ефективність таргетної м'язової реіннервації для лікування та профілактики постампуційного болю - систематичний огляд	Di Valerio, E., Lautenslager, L., Vonu, P., Mustafa, C., Chim, H. & Satteson, E. (2022). Efficacy of targeted muscle reinnervation for treating and preventing postamputation pain - a systematic review. Plastic And Aesthetic Research, 9, 62. https://doi.org/10.20517/2347-9264.2022.50	Включені дослідження продемонстрували, що TMR забезпечує нижчі показники максимального болю та інтенсивності болю, больової поведінки та впливу болю порівняно зі стандартною допомогою. Вторинні TMR, застосовані для лікування пацієнтів зі сформованими больовими невромами, також засвідчили зменшення болю порівняно з вихідним рівнем.	Систематичний огляд літератури	9 досліджень, що включають 101 перенесення нервів верхньої кінцівки та 252 нижньої кінцівки	Верхня кінцівка = 101 Нижня кінцівка = 252	н/д (Пошук травень 2021)	Користування протезом та функціональність, покращення або збереження болю (PROMIS), показання, ускладнення, донорські нерви, технічні аспекти TMR	Первинна та вторинна	RLP: 3 з 4 досліджень повідомили про значне покращення показників PROMIS у пацієнтів TMR порівняно з контрольною групою. Ще п'ять досліджень не аналізували показники PROMIS, але повідомили про суб'єктивне покращення результатів щодо болю.	PLP: 3 з 4 досліджень повідомили про значне покращення показників PROMIS у пацієнтів TMR порівняно з контрольною групою. Ще п'ять досліджень не аналізували показники PROMIS, але повідомили про суб'єктивне покращення результатів щодо болю.	Illa

Langeveld, M., Hundepool, C. A., Duraku, L. S., Power, D. M., Rajaratnam, V., & Zuidam, J. M.	Хірургічне лікування невром периферичних нервів: систематичний огляд та метааналіз	Langeveld, M., Hundepool, C. A., Duraku, L. S., Power, D. M., Rajaratnam, V., & Zuidam, J. M. (2022). Surgical Treatment of Peripheral Nerve Neuromas: A Systematic Review and Meta-Analysis. Plastic and reconstructive surgery, 150(4), 823e–834e. https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000009545	Вибір хірургічної тактики лікування симптоматичної периферичної невроми є складним, проте хірургічне втручання забезпечує значне полегшення болю у більшості випадків. Таргетна м'язова реіннервація є перспективною для ведення пацієнтів з болючими невромами.	Систематичний огляд та метааналіз	30 досліджень	н/д	н/д	Числові (VAS/ NRS) або нечислові оцінки післяопераційного болю після хірургічного лікування периферичної невроми	Вторинна	н/д	н/д	IIIb
Wee, C., Boas, S., Coquillard, C., Cai, Y., Kurlander, D., Maasarani, S., Leavitt, T., Long, T., Lineberry, K., & Khouri, J.	Комбінація таргетної м'язової реіннервації з регенеративними інтерфейсами периферичних нервів зменшує тривале застосування наркотичних анальгетиків у осіб з ампутацією: дослідження випадок-контроль	Wee, C., Boas, S., Coquillard, C., Cai, Y., Kurlander, D., Maasarani, S., Leavitt, T., Long, T., Lineberry, K., & Khouri, J. (2024). Combined Targeted Muscle Reinnervation With Regenerative Peripheral Nerve Interfaces Decreases Long-Term Narcotic Use in Amputees: A Case Control Study. Annals of plastic surgery, 92(4), 432–436. https://doi.org/10.1097/SAP.00000000000003836	Це дослідження демонструє, що TMRpn може призводити до зниження частоти хронічного вживання опіоїдів. Показані подальші дослідження для оптимізації методик TMRpn та відбору пацієнтів, а також для визначення її довгострокової ефективності.	Дослідження випадок-контроль	62 пацієнти, 31 із TMRpn & 31 без TMRpn (контрольна група)	н/д	н/д (Пацієнти, яким виконували хірургічні втручання між 2019 та 2021)	Застосування опіоїдів	Первинна	н/д	н/д	IIIb

Valentine, L., Weidman, A. A., Foppiani, J., Hernandez Alvarez, A., Kim, E., Hassell, N. E., Elmer, N., Engmann, T. F., Lin, S. J., & Dowlats-hahi, S.	Національний аналіз таргетної м'язової реіннервації після великої ампутації верхньої кінцівки	Valentine, L., Weidman, A. A., Foppiani, J., Hernandez Alvarez, A., Kim, E., Hassell, N. E., Elmer, N., Engmann, T. F., Lin, S. J., & Dowlats-hahi, S. (2024). A National Analysis of Targeted Muscle Reinnervation Following Major Upper Ex-tremity Amputation. Plastic and reconstructive surgery, 10.1097/PRS.000000000 00011439. Advance online publication. https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000011439	TMR має задекларовані переваги у вигляді зменшення болю, запобігання утворенню невром та покращення контролю над протезом. Доступ до цієї корисної процедури після ампутації верхньої кінцівки різниться залежно від демографічних характеристик і географічного регіону. Оскільки не доведено, що TMR підвищує вартість, а водночас зменшує тривалість перебування пацієнта у стаціонарі, посилення зусиль щодо впровадження цієї процедури у навчання та практику сприятиме забезпеченню справедливої допомоги пацієнтам з ампутацією	Дослідже-ння випадок-контроль	8.945 па-цієнтів, з них 310 із TMR (8.635 без TMR)	Верхня кінцівка	н/д (Пацієнт и з бази даних 2016-2019)	Демографічні характеристики, географічний регіон, загальна вартість госпіталізації, тривалість перебування у стаціонарі, зменшення болю, запобігання утворенню невром & покращений контроль над протезом	Первинна	н/д	н/д	IIIb
--	---	--	---	-------------------------------	--	-----------------	--	--	----------	-----	-----	------