

ПОТАПОВА Олена

Запорізький національний університет
<https://orcid.org/0000-0002-5603-7940>
potapovaov18.1@gmail.com

БЕССАРАБОВА Олена

Запорізький національний університет
<https://orcid.org/0000-0002-9193-4241>
bessarabova217@gmail.com

ОЛЬШАНСЬКА Валентина

Запорізький національний університет
<https://orcid.org/0009-0007-5999-8994>
husky199800@gmail.com

ПОДКУР Олександр

Запорізький національний університет
<https://orcid.org/0009-0005-5479-4218>
s.podkyr@gmail.com

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕРАПЕВТИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ФАНТОМНОГО БОЛЮ У ПАЦІЄНТІВ З БІЛАТЕРАЛЬНОЮ АМПУТАЦІЄЮ КІНЦІВОК

У науковій праці представлений теоретичний аналіз наукових джерел щодо ефективності терапевтичних методів зменшення фантомного болю у пацієнтів з білатеральними ампутаціями. Проведено аналіз наукових публікацій, монографій, рецензованих статей та матеріалів наукометричних баз, що освітлюють сучасні методи подолання фантомного болю, такі як уявне виконання рухів (Motor Imagery), дзеркальна терапія (Mirror Therapy), віртуальна дзеркальна терапія (Virtual Mirror Therapy) та фантомне виконання рухів (Phantom Motor Execution). Розглянуто сучасні терапевтичні підходи до лікування фантомного болю та реабілітації пацієнтів після ампутації кінцівок. Проведений аналіз методів лікування фантомного болю кінцівок показав, що Phantom Motor Execution (PME) є найбільш ефективним методом, оскільки він забезпечує інтерактивний зворотний зв'язок і дозволяє пацієнтам з білатеральними ампутаціями виконувати реальні рухи фантомних кінцівок. Метод значно знижує інтенсивність болю і покращує загальний стан пацієнтів. Віртуальна дзеркальна терапія (VMT) та дзеркальна терапія (MT) також продемонстрували ефективність, але їх переваги в порівнянні з PME обмежені. Уявне виконання рухів (Motor Imagery) має меншу ефективність, оскільки не включає інтерактивні завдання і моторне виконання рухів, що обмежує його застосування для пацієнтів з білатеральними ампутаціями. Рекомендовано застосовувати Phantom Motor Execution (PME) для зменшення фантомного болю у пацієнтів з білатеральними ампутаціями.

Ключові слова: фантомний біль кінцівки (ФБК), ампутації кінцівок, рухова активність, phantom motor execution (PME), дзеркальна терапія, віртуальна реальність.

<https://doi.org/10.31891/pcs.2025.4.25>

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Війна в Україні спричинила значне зростання кількості військовослужбовців та цивільних осіб, які зазнали ампутацій і потребують комплексної реабілітації. Окрім функціональних обмежень, спричинених ампутацією кінцівки, пацієнти часто стикаються з болючими відчуттями, що сприймаються як такі, що походять від втраченої кінцівки. Це явище отримало назву фантомного болю кінцівки (PLP – Phantom Limb Pain). Фантомний біль це тип нейропатичного больового синдрому, коли

людина після ампутації відчуває біль у кінцівці, якої більше немає. Незважаючи на те, що у розвитку цього нейропатичного болю беруть участь як центральні, так і периферичні механізми, основну роль відіграють саме центральні нейропластичні зміни. Дослідження Flor та ін. показали, що PLP тісно пов'язаний із нейропластичними змінами у первинній соматосенсорній корі, тоді як дослідження Makin та ін. припускають, що основною причиною фантомного болю може бути зниження міжпівкульної функціональної зв'язності, а не лише реорганізація кори головного мозку. За даними наукових досліджень більшість

пацієнтів з ампутацією (до 80%) страждають від фантомного болю в ранньому та пізньому післяопераційному періоді [1,2].

Наявність фантомного болю значно впливає на процес реабілітації пацієнтів, істотно впливає на рухову активність, негативно впливає на психологічний стан пацієнта, є бар'єром до подальшого протезування. Зважаючи на те, що нейропластичність відіграє ключову роль у підтримці PLP, для його лікування застосовуються методи, спрямовані на відновлення нормальної роботи нервової системи, такі як уявна моторика (motor imagery) та дзеркальна терапія (mirror therapy). Вони сприяють перебудові функціональних зв'язків і зменшенню болю. Водночас уявна моторика в деяких випадках може посилювати больові відчуття, тому її рекомендується комбінувати з іншими методами. Дослідження показали, що дзеркальна терапія є ефективнішою, ніж уявна моторика, оскільки активація мозкових структур під час реального руху значно інтенсивніша. Крім того, недавні дослідження довели, що збудливий зв'язок між таламусом і моторною корою є критично важливим для виконання реальних рухів, але не для уявної моторики [3,4].

Незважаючи на значний прогрес у галузі медицини та новітніх реабілітаційних технологій, терапія для зменшення фантомного болю залишається складним завданням для реабілітації. У сучасній науковій літературі активно досліджуються немедикаментозні методи для зменшення фантомного болю, як уявне виконання рухів (Motor Imagery), дзеркальна терапія (Mirror Therapy), віртуальна дзеркальна терапія (Virtual Mirror Therapy) та фантомне виконання рухів (Phantom Motor Execution). Проте їх порівняльна ефективність та перспективність у реабілітації пацієнтів після ампутації потребують детальнішого аналізу.

2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Фантомний біль є недостатньо вивченим феноменом, при якому люди з ампутуваними кінцівками відчують гострий больовий синдром, локалізований у відсутній частині тіла. Цей стан може бути дуже виснажливим і здатний серйозно вплинути на якість життя

хворого, проте жодна з існуючих теорій не дає вичерпного пояснення.

Проте більшість вчених спираються на гіпотезу, яка висвітлює, що фантомний біль є результатом складного механізму, що включає нейропластичні зміни в сенсомоторній корі головного мозку. Хірургічне видалення частини тіла та перерізання периферичних нервів призводять до відсутності аферентного зворотного зв'язку, що в свою чергу викликає зміни в сенсорних та моторних зонах головного мозку. Ці зміни призводять до виникнення процесів підвищеної чутливості або реактивності нервових структур до болю або інших стимулів та супроводжуються такими механізмами, як периферична, спинномозкова та кортикальна сенсibiliзація, що сприяють розвитку хронічного фантомного болю кінцівки [5]. Окрім того, зміни в тілі схеми та психосоціальні фактори можуть значно впливати на перебіг і тяжкість цього болю.

За сучасними уявленнями, патогенез фантомного болю може бути пов'язаний не лише з локальною реорганізацією сенсомоторної кори, а з функціональними змінами в ширшій нейроматричній мережі, включно з таламусом та соматосенсорними областями мозку, які зберігають патологічну «нейросигнатуру» відсутньої кінцівки.

Втрата аферентного зворотного зв'язку після ампутації призводить до реорганізації сенсомоторної кори та порушення нормальної взаємодії між таламусом і корою, що підтримує виникнення та хронізацію фантомного болю. Згідно з «теорією стохастичної заплутаності», після ампутації нейронна мережа, яка раніше контролювала кінцівку, втрачає свою первинну функцію і стає чутливою до взаємодії з сусідніми нейронними структурами. У випадку ФБК таке переплетення відбувається з ноцицептивними нейронами, що відповідають за сприйняття болю.

З нейрофізіологічної точки зору, після ампутації в сенсомоторній корі залишається ділянка, позбавлена аферентних імпульсів і моторного контролю. Ця зона не стає повністю неактивною, а може періодично генерувати спонтанні імпульси. Якщо такі імпульси синхронізуються з активністю ноцицептивних структур, це може викликати відчуття болю у відсутній кінцівці. З точки

зору нейропластичності, одночасне збудження сенсомоторних і ноцицептивних нейронів сприяє утворенню патологічних зв'язків, що призводить до хронічного фантомного болю.

Систематичні огляди показують, що методи нейромодуляції – транскраніальна магнітна стимуляція та інші форми електричної стимуляції – можуть змінювати кортикальну збудливість і зменшувати біль, хоча ефективність залежить від параметрів стимуляції та тривалості курсу [6].

Розуміння механізмів виникнення фантомного болю кінцівок є ключовим для пошуку та підбору ефективних методів реабілітації пацієнтів після ампутації кінцівок. Сучасні підходи до лікування фантомного болю вимагають міждисциплінарного підходу, який дозволяє максимально ефективно зменшити інтенсивність болю, сприяти відновленню функцій та покращити якість життя пацієнтів. Використання інтерфейсів мозок-машина та інших ВМІ-технологій показало, що зміна кортикальної активності може як збільшувати, так і зменшувати фантомний біль, що підкреслює складність зв'язку між моторним відновленням і больовими переживаннями. [7].

Тому аналіз ефективності різних методів терапії, таких як уявне виконання рухів, дзеркальна терапія, віртуальна дзеркальна терапія та фантомне виконання рухів, є важливим для розробки нових підходів до лікування фантомного болю у пацієнтів з білатеральною ампутацією кінцівок.

Незважаючи на численні дослідження, немає єдиної терапії з високим рівнем доказів ефективності для фантомного болю, і багато рандомізованих досліджень мають обмежену потужність, що підкреслює потребу в подальших масштабних клінічних випробуваннях [1].

Розуміння механізмів нейропластичності та психосоціальних факторів дозволяє фізичним терапевтам підбирати індивідуалізовані протоколи реабілітації, комбінуючи моторну уяву, дзеркальну терапію та фантомне виконання рухів для оптимального зменшення болю та відновлення функцій.

3. ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ

ПРОБЛЕМИ, КОТРИМ ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ ОЗНАЧЕНА СТАТТЯ

На сьогодні фантомний біль залишається складною і до кінця не вивченою проблемою, зокрема у пацієнтів з білатеральною ампутацією. Існуючи методи терапевтичного впливу представлені переважно для лікування фантомного болю з односторонньою ампутацією. Тому недостатнє вивчення цієї проблеми зумовлює необхідності наукових досліджень в даному напрямку.

4. ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Мета роботи: дослідити механізм виникнення фантомного болю та пошук найбільш перспективного підходу його зменшення в пацієнтів після білатеральної ампутації кінцівок.

5. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПОВНИМ ОБҐРУНТУВАННЯМ ОТРИМАНИХ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Motor Imagery, MI (уявне виконання рухів). У своїй роботі МакАйвер та ін [7] визначають уявне виконання рухів як нейромодуючий метод лікування фантомного болю. В рамках цього методу фантомна кінцівка сприймається як реальна частина тіла, що формується внаслідок взаємодії між пацієнтом та його внутрішніми образами тіла. Підхід МакАйвера зосереджений виключно на уявних рухах, без фактичних рухів залишкової кінцівки. Використання MI (уявне виконання рухів) ґрунтується на тому, що цей процес активує ті самі нейронні шляхи, що й реальні рухи, стимулюючи моторну та сенсорну кору.

Отож, цей метод передбачає уявлення пацієнтом рухів ампутованої кінцівки без візуального зворотного зв'язку та моторного виконання. Він підходить для пацієнтів з білатеральними ампутаціями, але має обмежену ефективність через відсутність інтерактивних завдань і моторного виконання рухів.

Mirror Therapy, MT (дзеркальна терапія) - це метод лікування фантомного болю, при якому дзеркало розміщується так, щоб пацієнт міг бачити відображення інтактної кінцівки. Застосування MT (дзеркальна терапія) для зменшення фантомного болю у пацієнтів з ампутацією було вперше описано Рамачандраном та іншими у 1995 році [8].

Найпоширенішим застосуванням цього методу є зменшення болю, коли кукса, що не видна, ховається за дзеркалом, а інтактна кінцівка ставиться перед дзеркалом. Таким чином, пацієнт бачить відображення інтактної кінцівки, що дає ілюзію наявності двох цілих кінцівок. Це дозволяє зменшити больові відчуття, оскільки пацієнт сприймає відсутню кінцівку як «цілу», що знижує відчуття болю в фантомній кінцівці. МТ (дзеркальна терапія) може використовуватися як самостійно, так і в комбінації з іншими методами [9].

Цей метод забезпечує візуальний зворотний зв'язок, дозволяючи пацієнту спостерігати рухи інтактної кінцівки через дзеркало, яке імітує рухи ампутованої кінцівки. Проте, МТ (дзеркальна терапія) не підходить для пацієнтів з білатеральними ампутаціями, оскільки для його застосування необхідна хоча б одна інтактна кінцівка. Крім того, вона не передбачає реальних рухів кукси або фантомної кінцівки і не включає інтерактивних завдань.

У дослідженні Mallik та ін. [10], було виявлено, що МТ (дзеркальна терапія) продемонструвала ефективність на рівні 93% у зменшенні фантомного болю, з помітними покращеннями як у зниженні болю, так і в поліпшенні функціональних результатів. Натомість МІ (уявне виконання рухів) мало менш стабільні результати та показало нижчий рівень успіху. Таким чином, МТ (дзеркальна терапія) та уявне виконання рухів є хорошими та економічно ефективними засобами реабілітації для пацієнтів з ампутованими кінцівками, щоб зменшити фантомний біль, але МТ (дзеркальна терапія) виявляється ефективнішою, ніж уявне виконання рухів.

Virtual Mirror Therapy, VMT (віртуальна дзеркальна терапія) – це інноваційний підхід до лікування фантомного болю, який використовує технології віртуальної реальності (VR) для створення інтерактивного візуального зворотного зв'язку. На відміну від МТ (дзеркальна терапія), де використовується фізичне дзеркало для відображення інтактної кінцівки, VMT (віртуальна дзеркальна терапія) застосовує VR-інтерфейси для створення віртуального образу відсутньої кінцівки, дозволяючи пацієнту «бачити» та «рухати» нею у віртуальному середовищі [11].

Методика проведення VMT (віртуальна дзеркальна терапія) передбачає використання VR-гарнітури для занурення пацієнта у віртуальне середовище. Спочатку система калібрується таким чином, щоб віртуальна кінцівка відповідала положенню та рухам інтактної кінцівки або уявним рухам пацієнта. Під час терапії пацієнт виконує серію завдань або вправ, спостерігаючи за рухами віртуальної кінцівки в реальному часі, що сприяє зменшенню фантомного болю.

VMT (віртуальна дзеркальна терапія) сприяє реорганізації нейронних зв'язків у мозку, активуючи області, відповідальні за рух та відчуття відсутньої кінцівки. Візуальний зворотний зв'язок допомагає зменшити конфлікт між очікуваними та реальними сенсорними сигналами, що, у свою чергу, може знизити інтенсивність фантомного болю.

У дослідженні [11] опубліковане в 2018 році взяли участь 75 пацієнтів з ампутацією нижніх кінцівок, які страждали на хронічний фантомний біль. Результати показали, що МТ (дзеркальна терапія) значно зменшила тривалість фантомного болю через шість місяців порівняно з VMT (віртуальна дзеркальна терапія) та контрольною групою. Однак VMT (віртуальна дзеркальна терапія) не продемонструвала додаткових переваг порівняно з самостійно виконуваною дзеркальною терапією через 10 тижнів та 6 місяців.

Ці результати свідчать про те, що МТ (дзеркальна терапія) може бути більш ефективною у зменшенні тривалості фантомного болю, тоді як VMT (віртуальна дзеркальна терапія) не показала значних додаткових переваг у цьому контексті. Проте необхідні подальші дослідження для більш детального вивчення ефективності VMT (віртуальна дзеркальна терапія) у лікуванні фантомного болю.

Також, у мета-аналізі 2022 року [4] дослідники оцінили ефективність МТ (дзеркальна терапія) та VMT (віртуальна дзеркальна терапія) для зменшення фантомного болю, проаналізувавши 15 досліджень з 300 учасниками. Результати показали, що обидва методи суттєво знижують біль за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ): МТ (дзеркальна терапія) в середньому на 2.54 одиниці, а VR-терапія – на 2.24 одиниці. Значної різниці між ними не

виявлено, що вказує на їхню подібну ефективність.

Цей метод надає візуальний зворотний зв'язок через цифрові технології, створюючи віртуальне зображення рухів ампутованої кінцівки. Хоча цей метод дозволяє використовувати інтерактивні завдання, він, як і МТ (дзеркальна терапія), не підходить для пацієнтів з білатеральними ампутаціями через відсутність інтактною кінцівки для управління віртуальним зображенням [12].

Phantom Motor Execution (фантомне виконання рухів) – це метод реабілітації фантомного болю, розроблений Максом Ортісом-Каталаном. Він базується на активації залишкової м'язової діяльності у куксі та використанні технологій, таких як міоелектричне розпізнавання рухів (PMR), віртуальна та доповнена реальність (VR/AR), а також гейміфікація.

Суть методу полягає у використанні м'язових сигналів від кукси для управління доповненим та віртуальним середовищем. Електричні сигнали у м'язах уловлюються електродами на шкірі. Алгоритми штучного інтелекту перетворюють сигнали руху віртуальної кінцівки у реальному часі. Пацієнти бачать себе на екрані з віртуальною кінцівкою на місці відсутньої і можуть керувати нею так само, як вони б керували своєю біологічною кінцівкою [13].

Метод PME (фантомне виконання рухів) впливає на мозок і нервову систему, активуючи моторну кору, нормалізуючи нейропластичність і відновлюючи взаємодію між півкулями, що зменшує фантомний біль. Завдяки міоелектричному розпізнаванню рухів (MPR) та доповненій реальності (AR) пацієнт вчиться керувати фантомною кінцівкою, що знижує патологічну активність нейронів болю та формує нові зв'язки. Сенсорний зворотний зв'язок і терапевтичні ігри активують мезолімбічну систему мозку, підсилюючи ефект лікування. PME (фантомне виконання рухів) допомагає відновити контроль над фантомною кінцівкою, що є ключовим у боротьбі з фантомним болем.

Згідно з «теорією стохастичної заплутаності», після ампутації нейронна мережа, яка раніше контролювала кінцівку, втрачає свою первинну функцію і стає чутливою до взаємодії з сусідніми нейронними структурами. У випадку ФБК таке переплетення відбувається з

ноцицептивними нейронами, що відповідають за сприйняття болю.

Дослідження продемонструвало, що застосування Phantom Motor Execution (PME) у пацієнтів із хронічним фантомним болем кінцівок призводить до значного зниження больового синдрому та покращення загального стану.

Зокрема, у дослідженні Макса Ортіса-Каталана та ін. [12], було залучено 14 пацієнтів із хронічним фантомним болем, для яких традиційні методи лікування виявилися неефективними. Після 12 сеансів PME (фантомне виконання рухів) було зафіксовано статистично та клінічно значущі покращення: інтенсивність болю за шкалою Numeric Rating Scale зменшилася на 32%, а індекс болю за Pain Rating Index – на 51%. Важливо, що ці покращення зберігалися протягом 6 місяців після завершення терапії. Крім того, двоє з чотирьох пацієнтів, які приймали знеболювальні, змогли зменшити їхнє споживання на 81% та 33% відповідно.

Додаткові докази ефективності PME (фантомне виконання рухів) надає дослідження [10], представлені на 6-му Міжнародному конгресі з нейропатичного болю у 2017 році. У ньому описано випадок 70-річного пацієнта з ампутацією нижньої кінцівки, який пройшов 24 сеанси PME. Результати показали значне зниження інтенсивності болю, покращення якості сну (з 2 до 7 годин на ніч) та загальне підвищення якості життя.

З нейрофізіологічної точки зору, після ампутації в сенсомоторній корі залишається ділянка, позбавлена аферентних імпульсів і моторного контролю. Ця зона не стає повністю неактивною, а може періодично генерувати спонтанні імпульси. Якщо такі імпульси синхронізуються з активністю ноцицептивних структур, це може викликати відчуття болю у відсутній кінцівці.

Цей метод є найбільш перспективним методом лікування фантомного болю, оскільки він поєднує візуальний зворотний зв'язок, реальне моторне виконання фантомних рухів та можливість виконання інтерактивних завдань. Особливо цей підхід ефективний для пацієнтів з білатеральними ампутаціями завдяки використанню сучасних технологій, таких як міоелектричне розпізнавання патернів і доповнена та віртуальна реальність, що сприяє активізації

моторних функцій та покращенню реабілітації [3].

6. ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМКУ

На основі аналізу ефективності чотирьох методів лікування ФБК – уявного виконання рухів (МІ), дзеркальної терапії (МТ), віртуальної дзеркальної терапії (VMT) та фантомного виконання рухів (РМЕ) – можна зробити кілька важливих висновків щодо їхнього застосування в реабілітації пацієнтів після ампутації.

Перш за все, необхідно відзначити, що кожен метод має свої особливості та обмеження, але найбільш ефективним, особливо для пацієнтів з білатеральними ампутаціями, є Phantom Motor Execution (РМЕ). Цей метод поєднує візуальний зворотний зв'язок і реальне моторне виконання фантомних рухів, активуючи моторну кору та нейропластичні процеси в мозку. Використання сучасних технологій, таких як міоелектричне розпізнавання та доповнена реальність (AR/VR), робить його дуже ефективним для відновлення функцій пацієнтів з двосторонніми ампутаціями, дозволяючи їм відновлювати контроль над фантомними кінцівками через інтерактивні

завдання. Це сприяє значному зниженню болю та покращенню загального стану пацієнтів, що підтверджують численні клінічні дослідження.

На противагу цьому, МТ, хоча й є простим і доступним методом, не підходить для пацієнтів з білатеральними ампутаціями через відсутність інтактної кінцівки для забезпечення візуального зворотного зв'язку. VMT, хоча й використовує сучасні технології VR для створення віртуальних зображень відсутніх кінцівок, не показала значних переваг порівняно з МТ і також має обмеження для пацієнтів з білатеральними ампутаціями.

МІ, хоча й є економічно доступним методом, має меншу ефективність, оскільки не забезпечує інтерактивних завдань і не активує моторне виконання рухів, що є ключовим для відновлення функцій кінцівки.

Таким чином, враховуючи результативність, здатність включати інтерактивні завдання та підходи до пацієнтів з білатеральними ампутаціями, метод Phantom Motor Execution є найбільш перспективним та ефективним у лікуванні ФБК. Однак для отримання більш точних і надійних результатів необхідні подальші дослідження, що дозволять вдосконалити терапевтичні підходи та адаптувати їх для широкого кола пацієнтів.

Література

1. Subedi B., Grossberg G. T. Phantom limb pain: Mechanisms and treatment approaches. *Pain Research and Treatment*. 2020. Vol. 2020, Article ID 6217834. P. 1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/6217834>
2. Hoh, L., Makin, T. R. The Role of Sensory Feedback in Phantom Limb Pain. *Journal of Pain Research*. 2020. Vol. 13. P. 2113-2124. <https://doi.org/10.2147/JPR.S287056>
3. Lendaro E., Hermansson L., Burger H., Van der Sluis C.K., McGuire B.E., Pilch M., Bunketorp-Käll L., Kulbacka-Ortiz K., Rignér I., Stocksélius A., Gudmundson L., Widehammar C., Hill W., Geers S., Ortiz-Catalan M. Phantom motor execution as a treatment for phantom limb pain: protocol of an international, double-blind, randomised controlled clinical trial. *Rehabilitation Medicine*, 2018 Jul 16;8(7):e021039. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-021039>
4. Rajendram, C., Ken-Dror, G., Han, T., & Sharma, P. (2022). Efficacy of mirror therapy and virtual reality therapy in alleviating phantom limb pain: A meta-analysis and systematic review. *Institute of Cardiovascular Research, Royal Holloway University of London*. 2022 Apr;168(2):173-177. <https://doi.org/10.1136/bmj-military-2021-002018>
5. Jensen, T. S., & Krebs, B. (2020). Phantom limb pain: mechanisms and treatment. *National Institutes of Health (NIH)*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7813551/>. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.051508.135604>
6. Lendaro, E., & Ortiz Catalan, M. (2017). Phantom Motor Execution as a Strategy to Treat Phantom Limb Pain: A Case Study on a Lower Limb Sufferer. *Clinical: Amputation Pain - Part 2 NEUP7-0210*. Chalmers University of Technology, Signals and Systems, Gothenburg, Sweden. https://research.chalmers.se/en/publication/252926?utm_source=chatgpt.com
7. MacIver K., Lloyd D.M., Kelly S., Roberts N., Nurmikko T. Phantom limb pain, cortical reorganization and the therapeutic effect of mental imagery. *Brain*. 2008;131:2181–2191. <https://doi.org/10.1093/brain/awn124>
8. Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D. Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proc Biol Sci* (1996) 263:377–86. <https://doi.org/10.1098/rspb.1996.0058>
9. MacIver, K., & Stevens, T. (2017). Mental Imagery: A Neuromodulatory Treatment for Phantom Limb Pain. *Journal of Pain Research*, 10, P. 99-108. <https://doi.org/10.2147/JPR.S134286>

10. Mallik, A. K., Pandey, S. K., Srivastava, A., Kumar, S., & Kumar, A. (2021). Comparison of relative benefits of mirror therapy and mental imagery in phantom limb pain in amputee patients at a tertiary care center. *PMC*. <https://doi.org/10.1136/pmc7853377>
11. Rothgangel, A., Braun, S., Winkens, B., Beurskens, A., & Smeets, R. (2018). Traditional and augmented reality mirror therapy for patients with chronic phantom limb pain (PACT study): results of a three-group, multicentre single-blind randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 32(12), 1591-1608. <https://doi.org/10.1177/0269215518785948>
12. Rajendram, C., Ken-Dror, G., Han, T., & Sharma, P. (2022). Efficacy of mirror therapy and virtual reality therapy in alleviating phantom limb pain: A meta-analysis and systematic review. *Institute of Cardiovascular Research, Royal Holloway University of London*. 2022 Apr;168(2):173-177. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-002018>
13. Jan Zbinden, Eva Lendaro, Max Ortiz-Catalan. Prosthetic embodiment: systematic review on definitions, measures, and experimental paradigms // *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2022. Vol. 19, Article №37. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01006-6>

References

1. Subedi B., Grossberg G. (2020) Phantom limb pain: Mechanisms and treatment approaches. *Pain Research and Treatment*. Article ID 6217834. P. 1–13. <https://doi.org/10.1155/2020/6217834>
2. Hoh, L., Makin, T. R. (2020) The Role of Sensory Feedback in Phantom Limb Pain. *Journal of Pain Research*. Vol. 13. P. 2113-2124. <https://doi.org/10.2147/JPR.S287056>
3. Lendaro E., Hermansson L., Burger H., Van der Sluis C.K., McGuire B.E., Pilch M., Bunketorp-Käll L., Kulbacka-Ortiz K., Rignér I., Stockselius A., Gudmundson L., Widehammar C., Hill W., Geers S., Ortiz-Catalan M. (2018) Phantom motor execution as a treatment for phantom limb pain: protocol of an international, double-blind, randomised controlled clinical trial. *Rehabilitation Medicine*, 8(7):e021039. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-021039>
4. Rajendram, C., Ken-Dror, G., Han, T., & Sharma, P. (2022). Efficacy of mirror therapy and virtual reality therapy in alleviating phantom limb pain: A meta-analysis and systematic review. *Institute of Cardiovascular Research, Royal Holloway University of London*. 168(2):173-177. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-002018>
5. Jensen, T. S., & Krebs, B. (2020). Phantom limb pain: mechanisms and treatment. National Institutes of Health (NIH). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7813551/>. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.051508.135604>
6. Lendaro, E., & Ortiz Catalan, M. (2017). Phantom Motor Execution as a Strategy to Treat Phantom Limb Pain: A Case Study on a Lower Limb Sufferer. *Clinical: Amputation Pain - Part 2 NEUP7-0210*. Chalmers University of Technology, Signals and Systems, Gothenburg, Sweden. https://research.chalmers.se/en/publication/252926?utm_source=chatgpt.com
7. MacIver K., Lloyd D.M., Kelly S., Roberts N., Nurmikko T. (2008) Phantom limb pain, cortical reorganization and the therapeutic effect of mental imagery. *Brain*;131:2181-2191. <https://doi.org/10.1093/brain/awn124>
8. Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D. (1996) Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proc Biol Sci* 263:377-86. <https://doi.org/10.1098/rspb.1996.0058>
9. MacIver, K., & Stevens, T. (2017). Mental Imagery: A Neuromodulatory Treatment for Phantom Limb Pain. *Journal of Pain Research*, 10, P. 99-108. <https://doi.org/10.2147/JPR.S134286>
10. Mallik, A. K., Pandey, S. K., Srivastava, A., Kumar, S., & Kumar, A. (2021). Comparison of relative benefits of mirror therapy and mental imagery in phantom limb pain in amputee patients at a tertiary care center. *PMC*. <https://doi.org/10.1136/pmc7853377>
11. Rothgangel, A., Braun, S., Winkens, B., Beurskens, A., & Smeets, R. (2018). Traditional and augmented reality mirror therapy for patients with chronic phantom limb pain (PACT study): results of a three-group, multicentre single-blind randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 32(12), 1591-1608. <https://doi.org/10.1177/0269215518785948>
12. Ortiz-Catalan M., Gudmundsdottir R., Kristoffersen M., et al. (2016) Phantom motor execution facilitated by machine learning and augmented reality as treatment for phantom limb pain: a single group, clinical trial in patients with chronic intractable phantom limb pain. *The Lancet*. Vol. 388, №10062. P. 2885-2894. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31598-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31598-7)
13. Jan Zbinden, Eva Lendaro, Max Ortiz-Catalan (2022) Prosthetic embodiment: systematic review on definitions, measures, and experimental paradigms. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. Vol. 19, Article №37. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01006-6>

Abstract

POTAPOVA Olena, BESSARABOVA Olena, OLSHANSKA Valentyna, PODKUR Oleksandr
Zaporizhzhia National University

COMPARATIVE ANALYSIS OF THERAPEUTIC METHODS FOR REDUCING PHANTOM PAIN IN PATIENTS WITH BILATERAL LIMB AMPUTATION

The scientific paper presents a theoretical analysis of scientific sources regarding the effectiveness of therapeutic methods for reducing phantom pain in patients with amputations. To date, phantom pain remains a complex and not fully understood problem, particularly in patients with bilateral amputations. Modern therapeutic approaches to the treatment of phantom pain and the rehabilitation of patients after limb amputation are reviewed. It has been established that existing therapeutic methods are predominantly designed to treat phantom pain in cases of unilateral amputation. The analysis of scientific publications, monographs, peer-reviewed articles, and materials from scientometric databases highlights

contemporary methods for overcoming phantom pain, such as motor imagery, mirror therapy (MT), virtual mirror therapy (VMT), and phantom motor execution (PME). The analysis of treatment methods for phantom limb pain demonstrated that phantom motor execution (PME) is the most effective approach, as it provides interactive feedback and enables patients with bilateral amputations to perform real movements of phantom limbs. This method significantly reduces pain intensity and improves the overall condition of patients. Virtual mirror therapy (VMT) and mirror therapy (MT) have also demonstrated effectiveness; however, their advantages compared to PME are limited. Motor imagery has lower effectiveness, as it does not involve interactive tasks or actual motor execution, which limits its applicability for patients with bilateral amputations. Therefore, the use of phantom motor execution (PME) is recommended for reducing phantom pain in patients with bilateral amputations.

Keywords: phantom limb pain (PLP), limb amputations, physical activity, phantom motor execution (PME), mirror therapy, virtual reality.

Стаття надійшла до редакції / Received 20.11.2025

Прийнята до друку / Accepted 23.12.2025