

PAMELA

Доказові рекомендації щодо
методів фізичної медицини та реабілітації
для лікування фантомного болю

Навчальні цілі

1

Дзеркальна терапія

2

(Поетапна) рухова уява

3

Використання протеза / застосування функціонального протеза

4

Вправи / тренування фантомних вправ

5

Тренування сенсорної дискримінації

6

Віртуальна реальність / Доповнена реальність

7

Тренування з біологічним зворотним зв'язком

8

Додаткові рекомендації

Вступ

Застосування нефармакологічних і неінвазивних методів лікування фантомного болю (PLP) після ампутації є невід'ємним елементом терапії болю. Його провідне місце в терапевтичній схемі зумовлене високою прийнятністю для пацієнтів, незначними побічними ефектами та можливістю реалізації самоефективних активних аналгетичних стратегій.

- Методи фізичної медицини та реабілітації (PM&R) мають обмежену наукову доказову базу щодо аналгетичної ефективності.
- Доказова база фармакологічного лікування також залишається обмеженою

Цей навчальний модуль представляє поширені методи, узагальнює сучасну літературу та надає практичні рекомендації для клінічного застосування.

- **Цільова аудиторія:** лікарі різних спеціальностей в амбулаторній та первинній ланці в Україні.
- **Акцент на** доступних, здійсненних втручаннях; вузькоспеціалізовані чи експериментальні методики виключено.
- **Мета:** надати практичні, орієнтовані на користувача рекомендації щодо ведення PLP, адаптовані до клінічного контексту та наявних ресурсів.

Методологія

Рекомендація щодо лікування ґрунтується на систематичному аналізі літератури, який визначає відповідний рівень доказовості (1-5) варіантів лікування.

Пріоритет надавали чинним настановам, систематичним оглядам і рандомізованим контрольованим дослідженням (РКД); для вже усталених методів додатковий пошук не проводили.

Дослідження з низькою зовнішньою доказовістю (< рівень 2) виключено.

Крок 1: Огляд і критична оцінка національних та міжнародних настанов щодо PLP з подальшим формуванням попередніх рекомендацій щодо лікування.

Крок 2: Аналіз високоякісних систематичних оглядів і метааналізів (з Cochrane Library).

Крок 3: Пошук у базах даних (PubMed, PEDro) додаткових систематичних оглядів; результати перевірено на релевантність.

Крок 4: Цілеспрямований пошук РКД

Крок 5: Остаточний відбір та аналіз досвідченими клініцистами для розробки практично орієнтованих рекомендацій щодо лікування.

Дзеркальна терапія

Дзеркальна терапія (МТ), запропонована на початку 1990-х років для лікування PLP, є простою та економічною. Дзеркало використовують для перегляду відображення неушкодженого боку тіла. Результатом є ілюзія покращення функції або зменшення болю у відсутній частині тіла. Дзеркало розміщують у коробці перед тілом так, щоб пацієнт після ампутації бачив лише контралатеральну кінцівку та її відображення, після чого виконують певні вправи або рухи. Припускають, що МТ посилює узгодженість між руховим імпульсом і сенсорним зворотним зв'язком, тим самим зменшуючи шкідливу кіркову реорганізацію та безпосередньо усуваючи біль. МТ також застосовують у лікуванні інших розладів, зокрема комплексного регіонарного больового синдрому та інсульту. [1]

Дослідження показують....

- значущий сприятливий вплив МТ на зменшення болю в пацієнтів з PLP [2-5]; за винятком одного дослідження [6]
- МТ є оптимальним методом лікування PLP [2]

ДЗЕРКАЛЬНУ ТЕРАПІЮ РЕКОМЕНДОВАНО ЯК ДОВЕДЕНО АНАЛГЕТИЧНО ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ТЕРАПІЇ. ТЕРАПЕВТИЧНИЙ ЕФЕКТ МОЖНА ПОСИЛИТИ ПОЄДНАННЯМ З ІНШИМИ МЕТОДАМИ ЛІКУВАННЯ.

Поетапна рухова уява (GMI)

GMI (graded motor imagery) або поетапна рухова уява – це терапія, яку проводять у три висхідні фази, що поділяються на i) вправи на латералізацію, ii) експліцитну рухову уяву та iii) дзеркальну терапію. Її застосовують для кіркової реорганізації за гіпотетичного дисбалансу між сенсорним, руховим і зоровим сприйняттям, який може призводити до PLP. У 1-й фазі на зображеннях розрізняють ліве й праве (вправи на латералізацію). У 2-й фазі виконують уявну вправу відсутньої кінцівки за допомогою експліцитної рухової уяви. У третій фазі проводять дзеркальну терапію: дзеркало розміщують так, щоб пацієнт бачив відображення повної контралатеральної кінцівки, а бік ампутації залишався поза полем зору. Пацієнт отримує зорову інформацію, що обидві кінцівки можуть рухатися без болю. Усі фази мають ґрунтуватися одна на одній і давати змогу процесу навчання та реорганізації прогресувати. [7, 8]

Дослідження показують....

- що GMI ефективно зменшує PLP і значуще переважає стандартне лікування з індивідуальною фізіотерапією. [9]
- що GMI може бути ефективною у зменшенні PLP [10]

У МЕЖАХ ПОЕТАПНОЇ РУХОВОЇ УЯВИ ДЗЕРКАЛЬНУ ТЕРАПІЮ МОЖНА ЗАСТОСОВУВАТИ ТАКОЖ ІЗ ВПРАВАМИ НА ЛАТЕРАЛІЗАЦІЮ ТА ПРОЦЕДУРАМИ РУХОВОЇ УЯВИ В ПОЕТАПНОМУ ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ ТА РЕОРГАНІЗАЦІЇ. ЦЕ МОЖЕ БУТИ ПОКАЗАНО, НАПРИКЛАД, ЯКЩО ПАЦІЄНТ ПІСЛЯ АМПУТАЦІЇ МАЄ НЕДОСТАТНІ НАВИЧКИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ АБО ЯКЩО ПРИ ПТСР ВИНΙΚАЮТЬ РЕТРАВМУЮЧІ ФЛЕШБЕКИ.

Використання протеза / застосування функціонального протеза

У чинній німецькій настанові з реабілітації після великої ампутації нижньої кінцівки застосування протеза чітко рекомендовано для лікування хронічного PLP. Зазначено, що пацієнта після ампутації слід якнайшвидше забезпечити протезом і мобілізувати.

Дослідження показують...

- що пацієнти після ампутації з активним використанням функціональних протезів руки («Sauerbruch-рука») мають значно нижчий рівень фантомного болю [11, 12] – значущість результатів сумнівна через методологічні недоліки.
- що PLP асоціювався з незадоволеністю протезом. [13]
- що частота користування протезом значуще пов'язана з відсутністю PLP; вище сприйняття протеза як власного (визначене як міра, в якій протез сприймається як частина тіла, а не як чужорідний штучний пристрій) асоціювалося з нижчим PLP. [14]

РКД або систематичних аналізів з цієї теми немає.

**З НАУКОВОГО ПОГЛЯДУ ЧЕРЕЗ БРАК ВИСОКОЯКІСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
МОЖНА НАДАТИ ЛИШЕ ОБМЕЖЕНУ РЕКОМЕНДАЦІЮ.**

Вправи / тренування фантомних вправ

Під час фантомних вправ уявний рух фантомних кінцівок поєднується в центральній нервовій системі з виконанням певних реальних фізичних рухів. Задіяна при цьому нейрофізіологічна мережа подібна до мережі реальної фізичної активності здорових кінцівок.

Дослідження показують...

- що 4 тижні фантомних вправ ефективніші за 4 тижні тренувальної терапії (обидві групи також отримували тренування з протезом) у зменшенні болю. [15]
- що додавання тренування фантомних вправ до стандартної допомоги (включно з дзеркальною терапією та фізіотерапією) зменшувало біль після 4 тижнів тренувань. [16]

Настанов, оглядів чи систематичних метааналізів щодо цієї форми терапії немає.

**ФАНТОМНІ ВПРАВИ МОЖНА РЕКОМЕНДУВАТИ З ОБМЕЖЕННЯМИ, АЛЕ
БРАКУЄ НАДІЙНИХ ДАНИХ ІЗ БІЛЬШОЮ КІЛЬКІСТЮ ВИПАДКІВ САМЕ
ЩОДО ХРОНІЧНОГО РЛР.**

Тренування сенсорної дискримінації

Під час тренування сенсорної дискримінації пацієнту подають конкретний, визначений і контрольований стимул. Потім пацієнта просять оцінити певний аспект стимулу (напр., локалізацію) і надають зворотний зв'язок щодо точності його оцінки. [17, 18].

Показано...

- що дослідження тренування сенсорної дискримінації нечисленні (один систематичний огляд [19], два РКД [18, 20])
- що якість наявних досліджень низька

РЕКОМЕНДАЦІЮ ЩОДО ТРЕНУВАННЯ СЕНСОРНОЇ ДИСКРИМІНАЦІЇ НАДАТИ НЕМОЖЛИВО ЧЕРЕЗ НИЗЬКУ ЯКІСТЬ ДОСЛІДЖЕНЬ, МАЛУ КІЛЬКІСТЬ УЧАСНИКІВ І ВИСОКИЙ РИЗИК СИСТЕМАТИЧНОЇ ПОХИБКИ.

Віртуальна реальність / Доповнена реальність

Поняття віртуальної реальності (VR) описує згенероване комп'ютером інтерактивне віртуальне середовище. VR повністю оточує користувача, тож фізична реальність значною мірою прихована. Поєднання VR і фізичної реальності - наприклад, коли цифрові елементи вставляють у реальний світ за допомогою спеціальних окулярів - називають змішаною реальністю (AR). [21] У лікуванні пацієнтів з PLP застосовують різні методи візуального уявлення відсутньої кінцівки. Віртуальні рухові завдання можна візуалізувати через інтерфейс на збережених м'язах кукси, а тактильні стимули можна також передавати за допомогою інноваційної технології протеза, щоб оптимізувати обмін інформацією між ЦНС і куксою і тим самим сприяти зменшенню PLP. Інноваційні технічні можливості інтенсивно оцінюють, а перспективні терапевтичні підходи вивчено переважно в невеликих дослідженнях (серій) випадків.

Дослідження ...

- показали зменшення PLP після застосування VR/AR [22-27], але мають малі вибірки, високу методологічну гетерогенність, брак контрольних втручань і обмежені висновки щодо доказовості.
- з вищою методологічною якістю (РКД [28, 29]) натомість описують суперечливі результати і не показали значущої переваги над контрольним втручанням (Sham-VR)

**РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВІРТУАЛЬНОЇ/ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ
МОЖЛИВІ ЛИШЕ ОБМЕЖЕНО ЧЕРЕЗ БРАК МЕТОДОЛОГІЧНО ЯКІСНИХ
ПОРІВНЯЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.**

Тренування з біологічним зворотним зв'язком

Тренування з біологічним зворотним зв'язком застосовують для сенсорного зворотного зв'язку через виконання фантомних рухів; воно зазвичай передбачає зорову або тактильну інформацію. Цю інформацію можна передавати через різні інтерфейси, наприклад екран або безпосередньо через контактну поверхню протеза. Мета - вирівняти сенсомоторну невідповідність між руховим наміром і пропріоцептивним зворотним зв'язком і наблизитися до вихідних фізіологічних процесів попри відсутню частину кінцівки. Таке узгодження інформації має протидіяти дезадаптивній пластичності через індукцію соматосенсорної пластичності, зменшувати PLP і оптимізувати компенсаторні рухові патерни м'язів.

Дослідження показують...

- значущі сприятливі ефекти пристроїв біологічного зворотного зв'язку щодо зменшення болю за візуальною аналоговою шкалою в пацієнтів з PLP. [30-35]

ЧЕРЕЗ НИЗЬКИЙ РІВЕНЬ ДОКАЗОВОСТІ РЕЗУЛЬТАТИ ЛИШЕ ВКАЗУЮТЬ НА ЕФЕКТ ТРЕНУВАННЯ З БІОЛОГІЧНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ ЩОДО PLP, ЩО ЩЕ ПОТРЕБУЄ ПІДТВЕРДЖЕННЯ В РКД.

Додаткові рекомендації 1

- Фізіотерапія покращує функцію, детренованість, активність, захищає від пов'язаних з іммобілізацією наслідків і посилює відчуття тілесності
- Брак РКД, імовірно, пояснюється методологічними бар'єрами; дизайн з контрольною групою був би неетичним.

Додаткові рекомендації 2

- Ерготерапія підвищує здатність до дії, усвідомлення тіла, практику повсякденної активності і, відповідно, участь.
- Самоефективність і незалежність істотно впливають на сприйняття болю. На жаль, досліджень ефективності щодо PLP немає.

Додаткові рекомендації 3

- Випробування простих процедур з незначними побічними ефектами і високою прийнятністю, як-от TENS, спостереження за дією, тренування з біологічним зворотним зв'язком, релаксація і масаж, які є ефективними при хронічному болю.
- Використання (функціонального) протеза для покращення функції посилює відчуття тілесності, а вторинно можна припустити покращення власних механізмів захисту організму від болю. На жаль, змістовних досліджень тут також бракує.

Зауваження

Загалом існує велика потреба в методологічно якісних клінічних РКД, які оцінюють методи лікування PLP. Є численні причини, з яких методологічні та етично-моральні бар'єри ускладнюють проведення досліджень такого типу. Брак порівнянних контрольних втручань і достатньо порівнянних учасників, висока гетерогенність популяції, яку слід аналізувати, а також велика методологічна різноманітність інноваційних підходів зрештою призводять до браку якісних РКД. Похідні систематичні аналізи через це майже неможливі. Слід зазначити, що з етичних міркувань контрольну групу не можна позбавляти, зокрема, базових форм терапії, які, окрім цілеспрямованого лікування PLP, охоплюють також загальну мобільність, запобігання спричиненій іммобілізацією детренованості та її широким наслідкам, як-от фізіотерапія. Тут вирішальними є інноваційні методологічні ідеї та методи оцінювання, за допомогою яких можна перевірити цей спектр терапій.

Список літератури

1. Xie HM, Zhang KX, Wang S, Wang N, Wang N, Li X, Huang LP. Effectiveness of Mirror Therapy for Phantom Limb Pain: A Systematic Review and Meta-analysis. Arch Phys Med Rehabil. 2022 May;103(5):988-997. doi: 10.1016/j.apmr.2021.07.810. Epub 2021 Aug 28. PMID: 34461084.
2. Wang J, Fan J, Gc R, Zhao J. Comparative Effects of Interventions on Phantom Limb Pain: A Network Meta Analysis. World Neurosurg. 2023 Feb;170:e45-e56. doi: 10.1016/j.wneu.2022.10.060. Epub 2022 Oct 21. PMID: 36273725.
3. Herrador Colmenero L, Perez Marmol JM, Marti-García C, Querol Zaldivar MLÁ, Tapia Haro RM, Castro Sánchez AM, Aguilar-Ferrándiz ME. Effectiveness of mirror therapy, motor imagery, and virtual feedback on phantom limb pain following amputation: A systematic review. Prosthet Orthot Int. 2018 Jun;42(3):288-298. doi: 10.1177/0309364617740230. Epub 2017 Nov 20. PMID: 29153043.
4. Tilak M, Isaac SA, Fletcher J, Vasanthan LT, Subbaiah RS, Babu A, Bhide R, Tharion G. Mirror Therapy and Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation for Management of Phantom Limb Pain in Amputees - A Single Blinded Randomized Controlled Trial. Physiother Res Int. 2016 Jun;21(2):109-15. doi: 10.1002/pri.1626. Epub 2015 Apr 1. PMID: 25832306
5. Wang F, Zhang R, Zhang J, et al. Effects of mirror therapy on phantom limb sensation and phantom limb pain in amputees: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Clinical Rehabilitation. 2021;35(12):1710-1721. doi:10.1177/02692155211027332
6. Barbin J, Seetha V, Casillas JM, Paysant J, Pérennou D. The effects of mirror therapy on pain and motor control of phantom limb in amputees: A systematic review. Ann Phys Rehabil Med. 2016 Sep;59(4):270-5. doi: 10.1016/j.rehab.2016.04.001. Epub 2016 May 30. PMID: 27256539.
7. Falbo KJ, Phelan H, Hackman D, Vogsland R, Rich TL. Graded motor imagery and its phases for individuals with phantom limb pain following amputation: A scoping review. Clin Rehabil. 2024 Mar;38(3):287-304. doi: 10.1177/02692155231204185. Epub 2023 Oct 17. PMID: 37849299; PMCID: PMC10860367.
8. Moseley GL. Graded motor imagery for pathologic pain: a randomized controlled trial. Neurology. 2006 Dec 26;67(12):2129-34. doi: 10.1212/01.wnl.0000249112.56935.32. Epub 2006 Nov 2. PMID: 17082465.
9. Limakatso, K., Madden, V. J., Manie, S., & Parker, R. (2020). The effectiveness of graded motor imagery for reducing phantom limb pain in amputees: a randomised controlled trial. Physiotherapy, 109, 65-74.
10. Limakatso K, Cashin AG, Williams S, Devonshire J, Parker R, McAuley JH. The Efficacy of Graded Motor Imagery and Its Components on Phantom Limb Pain and Disability: A Systematic Review and Meta-Analysis. Can J Pain. 2023 May 17;7(1):2188899. doi: 10.1080/24740527.2023.2188899. PMID: 37214633; PMCID: PMC10193907.
11. Weiss T, Miltner WH, Adler T, Brückner L, Taub E. Decrease in phantom limb pain associated with prosthesis induced increased use of an amputation stump in humans. Neurosci Lett. 1999 Sep 10;272(2):131-4. doi: 10.1016/s0304-3940(99)00595-9. PMID: 10507559.
12. Brückner, L., Adler, T., & Weiss, T. (2001). Der Wert des aktiven Sauerbruch-Armes und seine positive Auswirkung auf den Phantomschmerz. Med Orthop Techn, 121, 3-10.
13. Desmond, D., Gallagher, P., Henderson-Slater, D., & Chatfield, R. (2008). Pain and psychosocial adjustment to lower limb amputation amongst prosthesis users. Prosthetics and orthotics international, 32(2), 244-252. <https://doi.org/10.1080/03093640802067046>
14. Bekrater-Bodmann, R., Reinhard, I., Diers, M., Fuchs, X., & Flor, H. (2021). Relationship of prosthesis ownership and phantom limb pain: results of a survey in 2383 limb amputees. Pain, 162(2), 630-640. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000002063>
15. Ulger O, Topuz S, Bayramlar K, Sener G, Erbahçeci F. Effectiveness of phantom exercises for phantom limb pain: a pilot study. J Rehabil Med. 2009 Jun;41(7):582-4. doi: 10.2340/16501977-0380. PMID: 19543671
16. Zaheer A, Malik AN, Masood T, Fatima S. Effects of phantom exercises on pain, mobility, and quality of life among lower limb amputees; a randomized controlled trial. BMC Neurol. 2021 Oct 27;21(1):416. doi: 10.1186/s12883-021-02441-z. PMID: 34706654; PMCID: PMC8554869.
17. Ryan C, Harland N, Drew BT, Martin D. Tactile acuity training for patients with chronic low back pain: a pilot randomised controlled trial. BMC Musculoskelet Disord. 2014 Feb 26;15:59. doi: 10.1186/1471-2474-15-59. PMID: 24571855; PMCID: PMC3942257.
18. Flor H, Denke C, Schaefer M, Grüsser S. Effect of sensory discrimination training on cortical reorganisation and phantom limb pain. Lancet. 2001 Jun 2;357(9270):1763-4. doi: 10.1016/S0140-6736(00)04890-X. PMID: 11403816.
19. Andrew Graham , Cormac G. Ryan , Alasdair MacSween , Jenny Alexanders , Nick Livadas , Sarah Oatway , Greg Atkinson & Denis J. Martin (2022) Sensory discrimination training for adults with chronic musculoskeletal pain: a systematic review, Physiotherapy Theory and Practice, 38:9, 1107-1125, DOI: 10.1080/09593985.2020.1830455
20. Wakolbinger R, Diers M, Hruby LA, Sturma A, Aszmann OC. Home-Based Tactile Discrimination Training Reduces Phantom Limb Pain. Pain Pract. 2018 Jul;18(6):709-715. doi: 10.1111/papr.12657. Epub 2017 Dec 29. PMID: 29105971.
21. Virtual reality in medicine. Deutsches Ärzteblatt. Feb 2024; Jg. 121; 3: 173.
22. Wittkopf PG, Lloyd DM, Johnson MI. Managing limb pain using virtual reality: a systematic review of clinical and experimental studies. Disabil Rehabil. 2019 Dec;41(26):3103-3117. doi: 10.1080/09638288.2018.1485183. Epub 2018 Sep 5. PMID: 30182760.
23. Cheung, J. C. W., Cheung, D. S. K., Ni, M., Chen, K. W., Mao, Y. J., Feng, L., ... & Leung, A. K. L. (2023). X-reality for phantom limb management for amputees: a systematic review and meta-analysis. Engineered Regeneration, 4(2), 134-151.
24. Vasantachart AY, Yeo E, Chau B. Virtual and Augmented Reality-based Treatments for Phantom Limb Pain: A Systematic Review. Innov Clin Neurosci. 2022 Oct-Dec;19(10-12):48-57. PMID: 36591552; PMCID: PMC9776775.
25. Eldaly AS, Avila FR, Torres-Guzman RA, Maita KC, Garcia JP, Serrano LP, Emam OS, Forte AJ. Virtual and Augmented Reality in Management of Phantom Limb Pain: A Systematic Review. Hand (N Y). 2022 Nov 5;15589447221130093. doi: 10.1177/15589447221130093. Epub ahead of print. PMID: 36341580.

Список літератури

26. Hali K, Manzo MA, Kouckek R, Wunder JS, Jenkinson RJ, Mayo AL, Ferguson PC, Lex JR. Use of virtual reality for the management of phantom limb pain: a systematic review. *Disabil Rehabil.* 2024 Feb;46(4):629-636. doi: 10.1080/09638288.2023.2172222. Epub 2023 Feb 1. PMID: 36724203.
27. Rajendram C, Ken-Dror G, Han T, Sharma P. Efficacy of mirror therapy and virtual reality therapy in alleviating phantom limb pain: a meta-analysis and systematic review. *BMJ Mil Health.* 2022 Apr;168(2):173-177. doi: 10.1136/bmjilitary-2021-002018. Epub 2022 Jan 18. PMID: 35042760.
28. Rothgangel A, Braun S, Winkens B, Beurskens A, Smeets R. 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. *Clin Rehabil.* 2018 Dec;32(12):1591-1608. doi: 10.1177/0269215518785948. Epub 2018 Jul 16. PMID: 30012007.
29. Yanagisawa T, Fukuma R, Seymour B, Tanaka M, Hosomi K, Yamashita O, Kishima H, Kamitani Y, Saitoh Y. BCI training to move a virtual hand reduces phantom limb pain: A randomized crossover trial. *Neurology.* 2020 Jul 28;95(4):e417-e426. doi: 10.1212/WNL.0000000000009858. Epub 2020 Jul 16. PMID: 32675074; PMCID: PMC7455320.
30. De Nunzio AM, Schweisfurth MA, Ge N, Falla D, Hahne J, Gödecke K, Petzke F, Siebertz M, Dechent P, Weiss T, Flor H, Graitmann B, Aszmann OC, Farina D. Relieving phantom limb pain with multimodal sensory-motor training. *J Neural Eng.* 2018 Dec;15(6):066022. doi: 10.1088/1741-2552/aad271. Epub 2018 Sep 19. PMID: 30229747.
31. Yanagisawa T, Fukuma R, Seymour B, Tanaka M, Yamashita O, Hosomi K, Kishima H, Kamitani Y, Saitoh Y. Neurofeedback Training without Explicit Phantom Hand Movements and Hand-Like Visual Feedback to Modulate Pain: A Randomized Crossover Feasibility Trial. *J Pain.* 2022 Dec;23(12):2080-2091. doi: 10.1016/j.jpain.2022.07.009. Epub 2022 Aug 3. PMID: 35932992.
32. Dietrich, C., Nehrlich, S., Seifert, S., Blume, K. R., Miltner, W. H. R., Hofmann, G. O., & Weiss, T. (2018). Leg Prosthesis With Somatosensory Feedback Reduces Phantom Limb Pain and Increases Functionality. *Frontiers in neurology*, 9, 270. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00270>
33. Page DM, George JA, Kluger DT, Duncan C, Wendelken S, Davis T, Hutchinson DT and Clark GA (2018) Motor Control and Sensory Feedback Enhance Prosthesis Embodiment and Reduce Phantom Pain After Long-Term Hand Amputation. *Front. Hum. Neurosci.* 12:352. doi: 10.3389/fnhum.2018.00352
34. Dietrich, C., Walter-Walsh, K., Preissler, S., Hofmann, G. O., Witte, O. W., Miltner, W. H., & Weiss, T. (2012). Sensory feedback prosthesis reduces phantom limb pain: proof of a principle. *Neuroscience letters*, 507(2), 97-100. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2011.10.068>
35. Preißler, S., Dietrich, C., Seifert, S., Hofmann, G. O., Miltner, W. H. R., & Weiss, T. (2018). The Feeling Prosthesis-Somatosensory Feedback from the Prosthesis Foot Reduces Phantom Limb Pain Dramatically. *Pain medicine (Malden, Mass.)*, 19(8), 1698-1700. <https://doi.org/10.1093/pm/pnx295>

Фінансування та подяки

Проект PAMELA отримує фінансову підтримку від Else Kröner-Fresenius Foundation (номер гранту 2023_EKHA.107).

Докладніше: див. повну настанову