

Еволюція концепції контралатеральної фасилітації опори у фізичній терапії: від нейрофізіологічних закономірностей до сучасної терапевтичної практики

УДК 615.825:616.831-005.1

V. V. Kormiltsev, S. V. Denysenko

Національний університет фізичного виховання і спорту України, Київ, Україна

Резюме. *Мета.* Проаналізувати історичний розвиток і сучасний стан концепції «контралатеральної фасилітації опори» у фізичній терапії пацієнтів після гострого порушення мозкового кровообігу. *Методи.* Бібліографічний аналіз наукової літератури (1906–2024 рр.) з міжнародних баз (PubMed, Scopus, PEDro) і фахових джерел (PhysioPedia, сучасна українська та іноземна науково-методична література). Розглянуто класичні нейрофізіологічні праці С. S. Sherrington (1906, 1910) та Т. Graham Brown (1911) і пропріоцептивній нейром'язовій фасилітації (PNF), започаткованій Н. Kabat (1946), підході S. Brunnstrom (1956), що базувався на використанні синергій і асоційованих реакцій, та моделі моторного перенавчання J. H. Carr і R. B. Shepherd (1987), яка інтегрувала принципи активної участі й функціонального тренування та сучасні дослідження (cross-education, interlimb coupling, step-up, forced-use). *Результати.* Виділено історичні етапи розвитку концепції: 1) відкриття контралатеральних рефлексів (рефлекс підтримки Шеррінгтона); 2) виявлення спинальних «центральної генераторів» ритму (Браун); 3) впровадження принципу іррадіації в ПНФ (Кабат); 4) використання асоційованих реакцій у відновленні після інсульту (Бруннстром); 5) перехід до рухового перенавчання без компенсаторних стратегій (Карр і Шеперд). Сучасні дослідження підтверджують феномен cross-education – збільшення сили та функції паретичної кінцівки після тренування сильнішої, ефекти міжкінцівкового нейронного зв'язку та доцільність «примусового використання» ураженої кінцівки. *Висновки.* Контралатеральна фасилітація опори еволюціонувала від базових рефлекторних механізмів до комплексу доказових методик фізичної терапії. Її врахування дозволяє розробляти ефективні програми реабілітації, що прискорюють відновлення за рахунок залучення сильніших кінцівок та нейропластичності.

Ключові слова: контралатеральна фасилітація, перехресне навчання, міжкінцівкове узгодження, примусове використання, пропріоцептивна нейром'язова фасилітація, реабілітація, фізична терапія, нейрореабілітація.

The evolution of the concept of contralateral support facilitation in physical therapy: from neurophysiological principles to modern therapeutic practice

V. V. Kormiltsev, S. V. Denysenko

National University of Ukraine on Physical Education and Sport, Kyiv, Ukraine

Abstract. *Objective.* To analyze the historical development and current state of the concept of “contralateral facilitation of support” in physical therapy for patients after ischemic stroke. *Methods.* A bibliographic analysis of scientific literature (1906–2024) was conducted using international databases (PubMed, Scopus, PEDro) and profes-

sional sources (PhysioPedia, modern Ukrainian and foreign scientific-methodological literature). The review included classical neurophysiological works by C.S. Sherrington (1906, 1910) and T. Graham Brown (1911); the proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) method introduced by H. Kabat (1946); the approach of S. Brunnstrom (1956), which focused on the use of synergies and associated reactions; and the motor relearning program by J.H. Carr and R.B. Shepherd (1987), which integrated principles of active participation and functional training, along with modern studies on cross-education, interlimb coupling, step-up exercises, and forced-use techniques. The principles of academic integrity and bioethics were observed (the study is a review without patient involvement). *Results.* Five historical stages of development of the concept were identified: (1) discovery of contralateral reflexes (Sherrington's support reflex); (2) identification of spinal central pattern generators (Brown); (3) introduction of the irradiation principle in PNF (Kabat); (4) use of associated reactions in post-stroke recovery (Brunnstrom); (5) transition to motor relearning without compensatory strategies (Carr & Shepherd). Contemporary studies confirm the cross-education phenomenon – improved strength and function of the paretic limb following training of the stronger limb as well as interlimb neural connections and the relevance of forced-use of the affected limb. *Conclusions.* Contralateral facilitation of support has evolved from basic reflex mechanisms to a set of evidence-based physical therapy approaches. Considering this concept enables the development of effective rehabilitation programs that accelerate recovery by engaging the stronger limb and harnessing neuroplasticity.

Keywords: contralateral facilitation, cross-education, interlimb coupling, forced use, proprioceptive neuromuscular facilitation, rehabilitation, physical therapy; neurorehabilitation.

Постановка проблеми. Реабілітація пацієнтів із неврологічними дефіцитами після пошкодження головного мозку внаслідок гострого порушення мозкового кровообігу (ГПМК) або травми нерідко ґрунтується на принципі використання збережених функцій для відновлення втрачених. Одним із таких феноменів є контралатеральна фасилітація опори – вплив сильної кінцівки на функцію ураженої. Історично цей феномен був помічений ще понад століття тому у вигляді рефлекторних реакцій: у разі подразнення однієї кінцівки інша автоматично забезпечує опору [18]. Сьогодні контралатеральний вплив вивчається ширше – як cross-education у спортивній та відновній медицині (перехресний ефект тренування), як interlimb coupling (нейронне узгодження між кінцівками), а також використовується в терапевтичних методиках, наприклад forced-use therapy (терапія примусового використання паретичної кінцівки після інсульту). У цій статті термін «контралатеральна фасилітація опори» використовується як узагальнююче поняття, що об'єднує зазначені нейрофізіологічні та терапевтичні феномени, а не як самостійна клінічна методика. Вивчення еволюції цього концепту важливе, оскільки дозволяє глибше зрозуміти нейрофізіологічні основи реабілітації та обґрунтувати сучасні методи фізичної терапії.

Актуальність теми. Сучасні дослідження підтверджують, що однобічне тренування може покращувати силу і функцію протилежної, нетренованої кінцівки [2]. Це особливо цінно для реабілітації пацієнтів після інсульту, травм чи іммобілізації, коли уражена кінцівка тимчасово не може виконувати рухи. Використання «сильної» сторони для стимуляції відновлення паретичної відповідає принципам нейропластичності мозку [9; 12; 16]. Водночас історичний досвід фізичної терапії (методи Кабата, Бруннстром тощо) вже десятиліттями застосовує явище контралатерального впливу, хоча й під різними назвами. Аналіз літератури вказує, що поєднання класичних знань про рефлекси з новітніми дослідженнями дає змогу удосконалити програми реабілітації. Проте низка аспектів лишається нерозкритою: оптимальні параметри «перехресного» тренування, механізми міжкінцівкової взаємодії при різних захворюваннях, довгострокові ефекти та межі застосування цього феномена в клініці. Наше дослідження узагальнює наявні знання, щоб окреслити відповіді на ці питання та визначити перспективи подальших розробок.

Мета дослідження. Проаналізувати історичний розвиток і сучасний стан концепції «контралатеральної фасилітації опори» у фізичній

терапії пацієнтів після гострого порушення мозкового кровообігу (ГПМК).

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети застосовано теоретичний аналіз науково-методичної літератури з проблеми дослідження, а також систематизацію отриманих даних. Для дослідження були використані сучасні дані з наукометричних баз PEDro, Scopus, Pubmed, Google Scholar. Усі джерела обирались за актуальністю, новизною й тематикою.

Зв'язок теми з науковими планами. Дослідження виконано в рамках планової науково-дослідної роботи Національного університету фізичного виховання і спорту України на 2021–2025 роки за напрямом «Теоретико-методологічні та практичні основи фізичної реабілітації і спортивної медицини», у межах теми 4.2 «Відновлення функціональних можливостей,

діяльності та участі осіб різних нозологічних, професійних і вікових груп засобами фізичної терапії» (номер державної реєстрації 0121U107926).

Результати дослідження та їх обговорення. На основі літературних даних можна виокремити декілька ключових етапів (періодів), що відображають еволюцію уявлень про контралатеральну фасилітацію – від перших лабораторних спостережень до інтеграції в реабілітаційну практику, що і визначило їхню особливості (табл. 1).

Етап 1. Нейрофізіологічне відкриття перехресних рефлексів (поч. ХХ ст.). Дослідження Ч. Шеррінгтона на кішках (1906–1910) встановили базові принципи рефлексорної моторики. Він описав явище, коли у разі больового подразнення та згинання кінцівки з одного боку

ТАБЛИЦЯ 1 – Еволюція концепції контралатеральної фасилітації опори: історичні етапи та їх характеристика [3; 4; 5; 10; 18]

Етап (період)	Ключові постаті, джерела	Суть концепції та роль контралатеральної фасилітації
Рефлексорний (поч. ХХ ст.) – відкриття перехресних рефлексів	Sherrington (1906–1910) – праці з рефлексів спинального мозку; інші нейрофізіологи того часу	Виявлено рефлекс перехресної підтримки: у разі згинання однієї ноги інша розгинається для підтримки тіла. Введено поняття іррадіації збудження на протилежний бік. Контралатеральна фасилітація розглядається як автоматична рефлексорна реакція для підтримання рівноваги.
Центрально-патерновий (1911) – центральний генератор ходи	Brown T.G. (1911) – експерименти зі спинальною ходою; наступні підтвердження CPG (50–60-ті рр.)	Встановлено спроможність спинного мозку генерувати ритм ходьби без аферентного вводу. Запропоновано модель «half-center» – поперемінної активності флексорів / екстензорів з координацією між кінцівками. Контралатеральна взаємодія закладена в самій нервовій мережі (через CPG), що зумовлює синхронізацію рухів двох ніг.
Реабілітаційно-іррадіаційний (1940–50-ті) – використання сильних кінцівок для допомоги слабким	Kabat H – метод ПНФ (1946); М. Кнотт, Voss DE – розвиток ПНФ (1956)	Введено терапевтичні прийоми, що базуються на іррадіації: опір руху сильнішої кінцівки викликає підсилення м'язової відповіді в протилежній (паретичній). ПНФ-патерни поєднують кінцівки по діагоналі, сприяючи активації паретичних м'язів за рахунок контралатеральних. Контралатеральна фасилітація реалізується як рефлексорне «перетікання» сили та імпульсів на слабку сторону.
Реабілітаційно-рефлексорний (1950–60-ті) – асоційовані реакції та синергії після інсульту	Brunnstrom S. (1956) – стадії відновлення після інсульту, асоційовані реакції; інші нейрофізіологічні підходи (Бобат та ін.)	Рефлекси та мимовільні співдружні рухи використано для «запуску» рухів у паралізованих кінцівках. Сильніші кінцівки свідомо залучаються для спричинення рефлексорних рухів паретичних (феномени Раймісте, синкінезії). Контралатеральна фасилітація тут – тригер появи активності в ураженій стороні через рухи сильнішої.
Моторного навчання (1980–90-ті) – активне залучення паретичної і обмеження компенсацій	J. Carr, R. Shepherd – моторне перенавчання (1987); розвиток білатеральних тренінгів; поява CIMT (Taub E., 1990-ті)	Фокус на свідомих рухах: стимулювати пацієнта користуватися ураженою кінцівкою. Двосторонні вправи для одночасної активації паретичної під контролем сильної. CIMT (примусове використання) – блокування сильної кінцівки для розвантаження «навченої безпорадності» паретичної. Контралатеральна фасилітація проявляється двоюко: або пряма допомога (у двосторонніх рухах), або опосередковано – через усунення впливу сильної (CIMT) з метою дати паретичній «роботу».
Сучасний доказовий (2000–2020-ті) – нейропластичність і технології	Численні RCT та огляди: ефект cross-education (метааналізи 2017–2024); interlimb coupling при інсульті (Dietz 2016); CIMT у рекомендаціях (EXCITE 2006); роботизовані двобічні тренажери	Доведено ~10 % приросту сили нетренованої кінцівки після однобічного тренування. Контралатеральні ефекти використовуються для збереження м'язів при іммобілізації. Нейровізуалізація підтвердила двосторонню активацію моторної кори при однобічних рухах і реорганізацію мозку після CIMT. Розробляються роботизовані системи, де рух сильної кінцівки «навчає» паретичну. Контралатеральна фасилітація стала частиною доказових протоколів фізичної терапії, що покращують відновлення за рахунок нейропластичності та міжпівкульної взаємодії.

протилежна кінцівка рефлекторно випрямляється для підтримки тіла — рефлекс перехресного розгинання [18]. Цей рефлекс служить для перерозподілу ваги та забезпечення стійкості, тобто сильний бік «підхоплює» опору за травмований бік. Шеррінгтон продемонстрував, що зазначена реакція має спинальний характер і інтегрується на рівні полісинаптичних шляхів спинного мозку. Одночасно він увів термін «іrrадіація»: якщо стимул сильний, збудження «розливається» на сусідні рухові центри, залучаючи додаткові м'язи, в тому числі контралатеральні [18]. Наприклад, у разі досить сильного больового подразнення ноги згинальний рефлекс може охоплювати і м'язи протилежної ноги. Ці фундаментальні роботи заклали поняття про взаємодію між двома половинами тіла на рівні рефлекторних дуг. Хоча сам термін «контралатеральна фасилітація» тоді не застосовувався, по суті було відкрито явище, де активність однієї кінцівки спричиняє пристосувальну реакцію іншої для забезпечення підтримки. Надалі це лягло в основу розуміння багатьох реабілітаційних підходів, що використовують протилежну кінцівку для допомоги ураженій [3; 18].

Етап 2. Концепція центральних генераторів та міжкінцівкової координації (1910–1930-ті рр.). Дослідник Т. Г. Браун продовжив вивчення спинальних механізмів руху. У 1911 р. він продемонстрував, що ритмічні почергові рухи ніг (ходьба) можуть виникати навіть без сенсорних сигналів з периферії — у так званій «деаферентованій» підготовці тварин. Цей феномен свідчив про існування в спинному мозку спеціалізованої мережі — центрального генератора шаблону рухів (англ. Central Pattern Generator, CPG). Браун ввів модель «половинних центрів» (half-centers): дві групи нейронів, що відповідають за згинання та розгинання, поперемінно гальмують одна одну, створюючи таким чином ритмічний патерн ходи. Важливо, що такий центральний механізм забезпечує координацію між кінцівками: коли одна нога згинається, «генератор» автоматично налаштовує іншу на розгинання (і навпаки). Це відбувається навіть без участі мозку або зворотного зв'язку від м'язів [3]. Відкриття CPG не перекреслило ідей Шеррінгтона, але доповнило їх, показавши, що, крім рефлекторного рівня, існує ще й центральний, вбудований механізм міжкінцівкової взаємодії. Для реабілітації ці знання стали підґрунтям

розробки технік ритмічної автономної рухової стимуляції (наприклад, тренування ходи на апаратах, що задають ритм кроків незалежно від зусиль пацієнта). У контексті нашої теми спадщина Брауна підкреслює: координація рухів правої та лівої кінцівок може покращуватися за рахунок активації «внутрішнього» спинального генератора. Це частково пояснює, чому симетричні або альтернативні вправи (напр. на велотренажері, на орбітреку) можуть фасилітувати слабшу кінцівку: вони активують центральний патерн, який впливає на обидві сторони [3; 6].

Етап 3. Поява реабілітаційних методик із використанням іrrадіації (1940–1950-ті рр.). Після Другої світової війни відбувся розвиток фізичної реабілітації як науки. На цьому етапі знання про рефлекси знайшли застосування у терапії парезів та плегій. Найяскравіший приклад — пропріоцептивна нейром'язова фасилітація (ПНФ), започаткована неврологом Германом Кабатом. Її суть — у стимуляції пропріоцепторів м'язів шляхом певних патернів руху, щоб полегшити виконання тих рухів, які утруднені у пацієнта (через парез). Кабат звернув увагу на феномен іrrадіації: якщо створити опір руху у сильнішій кінцівці чи м'язі, то рефлекторно підвищиться активність слабкого м'яза або протилежної кінцівки. Цей принцип було покладено в основу багатьох ПНФ-технік. Наприклад, у пацієнта після мозкового інсульту (MI) слабке розгинання в ураженій нозі — тоді терапевт чинить спротив розгинанню сильної ноги, викликаючи через іrrадіацію деякий рефлекторний тонус і активацію у м'язах паретичної ноги. В іншій варіації: якщо слабка права рука, пацієнт виконує динамічний рух обома руками по діагоналі, і сильна ліва рука «тягне» за собою праву, залучаючи її до руху. Такі діагональні моделі рухів (D1, D2 патерни в ПНФ) спеціально розроблені таким чином, щоб активувати перехресні нервові шляхи і викликати співдружність кінцівок. Як наслідок, паретична кінцівка не працює ізольовано — їй допомагає сила та імпульси від протилежної сторони тіла. Це класичний приклад контралатеральної фасилітації в дії: сильна сторона «тягне» слабку, виступаючи свого роду «підсилювачем» нервових сигналів. Ефективність ПНФ підтверджена багатьма клінічними спостереженнями — вона покращує м'язову силу, координацію, діапазон руху тощо у неврологічних хворих [15]. Методика ПНФ стала міжнародно

визнаною; фактично вона інтегрувала нейрофізіологію рефлексів Шеррінгтона (ірадіацію, реципрокне гальмування) у стандарти фізичної терапії. Таким чином, у середині ХХ ст. утвердився перший терапевтичний напрям, де контралатеральна фасилітація використовувалась системно і цілеспрямовано [10; 15; 17; 18].

Етап 4. Використання асоційованих реакцій у процесі відновлення після уражень ЦНС (1950–1960-ті рр.). Приблизно в цей час паралельно розвивалися підходи до реабілітації хворих після МІ та травм ЦНС. С. Бруннстром у США, беручи за основу роботу Т.Р. Twitchell (1951) про стадії відновлення рухів після інсульту, запропонувала концепцію поетапного відновлення – від стадії в'ялого паралічу до спастичних синергій і далі до нормальних рухів. На ранніх етапах відновлення вона рекомендувала активно використовувати рефлекси та асоційовані реакції для «розбудження» плегічних кінцівок. Типові прийоми: примусово викликати згинальну синергію плегічної руки через рефлекс хвату або через рухи сильною рукою; викликати розгинальну реакцію плегічної ноги шляхом різкого зусилля сильною ногою (напр., піднятися навшпиньки на «здоровій» нозі – плегічна нога рефлекторно теж випрямиться). Бруннстром описала декілька феноменів, які стали «інструментами» терапії: феномен Раймісте (описаний вище, сприяє рухам у стегнах), феномен Соука (піднімання слабкої руки вище горизонталі викликає розгинання пальців), згадану синкінезію (односпрямований рух верхньої і нижньої кінцівки з одного боку) тощо. Ключовий принцип тут – непряма активація: коли пацієнт не може свідомо поворухнути рукою, ми змушуємо інші частини тіла зробити рух, котрий рефлекторно зачепить і цю руку. Завдяки такій стратегії багато пацієнтів долають початкову фазу повної нерухомості кінцівок і переходять до етапу слабких, але наявних рухів (стадія 2–3 за Бруннстром). Надалі, звісно, треба відчувати від грубих синергій, але контралатеральна фасилітація відіграє роль «пускового механізму». Цей етап історично важливий, бо продемонстрував: навіть після тяжких уражень мозку збережені нервові зв'язки між півкулями (через мозолисте тіло, спинальні інтернейрони) дозволяють одній стороні тіла допомагати іншій. Цей підхід набув поширення у вигляді методик нейрофасилітації (включно з методами Бобат, Руд, Кніппінг та

ін.), які у різних варіаціях теж використовували перехресні рефлекторні реакції [4; 5; 18].

Етап 5. Перехід до моторного навчання та «примусового» використання паретичної кінцівки (1980-ті – наш час). З 1970–80-х років у реабілітації починається «кінезіологічна» революція: увага зміщується від рефлексів до свідомих рухів і тренування навичок. Карр і Шеперд у своїй концепції моторного перенавчання критикували надмірне використання примітивних рефлексів і компенсацій [5]. Вони наголошували, що пацієнт має якомога більше користуватися ураженою кінцівкою і якомога менше компенсувати сильнішою. Популярність здобувають двобічні вправи (bilateral training), коли обидві руки чи ноги виконують рух разом – це дозволяє «втягнути» слабку кінцівку в роботу під ритм і зразок, заданий «здоровою» [7; 16]. Наприклад, хворий після інсульту тримає предмет двома руками і піднімає його – «здорова» рука фактично допомагає слабкій утримувати та піднімати предмет, але при цьому мозок отримує аферентацію з обох кінцівок. Дослідження підтверджують: такий двосторонній тренінг покращує силу, спритність і функціональне використання паретичної руки [7; 12]. Вважається, що це відбувається через інтергемісферну взаємодію: під час симетричних рухів активуються моторні зони обох півкуль, навіть якщо одна з них пошкоджена, – за рахунок роботи мозолистого тіла відбувається активація і пошкодженого боку мозку [16]. Іншим важливим нововведенням стала методика Constraint-Induced Movement Therapy (СІМТ, терапія, індукована обмеженням рухів), розроблена Е. Таубом (США) [20]. Вона базується на експериментах, де у мавп з одностороннім паралічем передньої кінцівки іммобілізували сильну кінцівку, тим самим примушуючи тварину користуватися паралізованою, і це з часом призводило до часткового відновлення функції [20]. У клінічному застосуванні СІМТ полягає в тому, що відносно здорову руку пацієнта після інсульту обмежують (наприклад, накладають м'яку пов'язку або ортез) на більшу частину дня, а пацієнта інтенсивно тренують користуватися паретичною рукою протягом 2–3 тижнів. Рандомізовані дослідження показали значне поліпшення функції та збільшення реального повсякденного використання паретичної руки після курсу СІМТ порівняно зі звичайною терапією. В аспекті нашої теми

CIMT — це як дзеркальний підхід до контралатеральної фасилітації: замість активної допомоги від «здорової» кінцівки тут сильніша кінцівка усувається, щоб усунути патологічну компенсацію [20]. Проте кінцева мета та ж сама: добитися того, щоб уражена кінцівка отримувала більше нейронної активації і функціонального навантаження, що стимулює відновлення. CIMT наочно демонструє явище «навченого невикористання» (learned non-use): якщо «здорова» рука весь час бере на себе всі задачі, мозок ще більше «відмовляється» користуватися ураженою рукою [20]. Тому усунення сильнішої руки з рівняння тимчасово фасилітує активацію паретичної — через потребу та пластичність.

Паралельно із CIMT розвиваються й інші техніки, що залучають контралатеральні принципи. Стратегія “step-up” у реабілітації розглядається як поступове збільшення навантаження на паретичну кінцівку за рахунок зменшення підтримки з боку «здорової». Наприклад, під час відновлення ходьби пацієнту спочатку надають підтримку з боку «здорової» ноги (щоб паретична брала більше ваги), потім цю підтримку поступово знижують — фактично це покрокове (step-wise) підвищення «ролі» ураженої ноги. Хоч термін “step-up” частіше використовується у статистиці, у фізичній терапії ним позначають стратегію поетапного переходу від двосторонньої опори до односторонньої на уражений бік. Це досягається або спеціальними вправами на сходинках (крок уперед сильною — паретична залишається основною для опори), або тренажерами балансувальними. Ефект — паретична кінцівка фасилітується до несення більшої ваги, що зміцнює її і підвищує впевненість пацієнта у використанні її як опорної [5].

Останніми роками, завдяки новітнім технологіям (ЕМГ-аналіз, фМРТ, ТМС), з'явилися докази на підтримку нейронних механізмів контралатеральної фасилітації. Так, дослідження мозку показали, що однобічні довільні рухи підвищують збудливість кортикоспінальних шляхів не лише в протилежній півкулі, а й частково в іпсилатеральній. Це підтверджує гіпотезу «крос-активації»: тренуючи одну сторону, ми активуємо моторні осередки обох півкуль, тому й нетренована сторона отримує стимул до адаптації. Інша гіпотеза — «спільного доступу»: мозок зберігає програми рухів у формах, доступних для обох кінцівок, тому, якщо програма напрацьована для правої руки,

ліва теж може нею скористатися. Це узгоджується зі спостереженнями, що втрата функції однієї кінцівки (наприклад, тимчасова іммобілізація) веде до активації контралатеральних моторних зон під час тренування «здорової» кінцівки, наче мозок «підтримує форму» і для другої руки.

Згаданий вище феномен cross-education (перехресного перенавчання м'язів) нині підтверджений численними метааналізами: в середньому близько 7–11 % приросту сили відбувається у нетренованій кінцівці після курсу тренування протилежної. Особливо це ефективно при ізометричних або ексцентричних режимах тренування, а також у дрібних м'язових групах. У клініці це означає, що, якщо у пацієнта травмована права рука і вона тривалий час у гіпсі, варто активно тренувати ліву руку — сила правої збережеться краще, ніж якби ліва теж не отримувала навантаження. Більш того, наявні дані, що cross-education може частково запобігати атрофії м'язів іммобілізованої кінцівки. Цей факт надзвичайно цінний для ортопедичної реабілітації (переломи, зв'язки) і вже набуває застосування: пацієнтам рекомендують тренувати протилежну кінцівку, поки ушкоджена знерухомлена, щоб зменшити втрати м'язової маси та сили.

Поглиблене вивчення interlimb coupling (міжкінцівкової нейронної сполученості) при інсульті показало, що збережені рухові центри неуразженої півкулі можуть «підстраховувати» роботу паретичної кінцівки за певних умов. Наприклад, Dietz & Schrafl-Altmet (2016) виявили, що під час виконання двосторонніх координованих рухів у пацієнтів після ГПМК стимуляція нервів «здорової» руки викликає електроміографічну реакцію в м'язах паретичної руки, ніби сильніший бік рефлекторно допомагає синергетичному руху протилежного боку [6]. Натомість стимуляція паретичної руки не спричиняє відповіді в «здоровій» (через порушення провідності ураженої сторони). Таким чином, автори зробили висновок: неушкоджені моторні центри можуть підтримувати рухи паретичної кінцівки, якщо задати вправи, де обидві кінцівки діють спільно. Цей принцип ліг в основу нових підходів — тренування кооперативних рухів (наприклад, двома руками разом щось пересувати, двома ногами крутити педалі), а також застосування роботизованих пристроїв, що синхронізують рух сильнішої і слабкої кінцівки. Таким

шляхом досягається фасилітація паретичної сторони завдяки нейронним зв'язкам зі «здоровою» стороною.

Отже, сучасний етап характеризується поєднанням кількох стратегій: 1) двобічне тренування (simultaneous bilateral training) — для залучення центральних патернів та міжкінцівкової координації; 2) перехресне одностороннє тренування (unilateral cross-education) — для підтримки сили і навичок нетренованої кінцівки; 3) примусова активація паретичної (CIMT, step-up) — для подолання нею «ледачого» сценарію і стимуляції нейропластичності. Усі ці підходи, хоч і різними шляхами, спираються на ідею контралатеральної фасилітації: сильний бік або активно допомагає слабкому, або тимчасово «відсторонюється» щоб дати слабкому проявитись, але в будь-якому разі враховується взаємодія двох сторін.

Пертурбаційне тренування. Пертурбація у фізичній терапії — це раптове зовнішнє збурення положення тіла або кінцівки, яке вимагає від пацієнта автоматичної реакції для збереження рівноваги. Пертурбаційне тренування набуло популярності для покращення балансувальних реакцій і запобігання падінням. У контексті контралатеральної фасилітації цю методику можна розглядати як спосіб активувати приховані рефлекси підтримки опори. Наприклад, коли пацієнта з інсультом легенько підштовхнути в бік на боці «здорової» ноги, рефлексорно паретична нога повинна зробити крок або напружитись, щоб утримати рівновагу, — це по суті викликає реакцію, аналогічну шеррінгтонівському перехресному рефлексу, але у тренуваних умовах. Регулярні контрольовані пертурбації (поштовхи, зміщення опори, ковзаючі платформи) привчають нервову систему швидко задіювати обидві ноги для запобігання падінню. Дослідження свідчать, що у пацієнтів із хронічним інсультом програма балансувальних пертурбацій значно зменшує ризик падінь і покращує стратегії відновлення рівноваги [13]. Важливо, що такі тренування залучають і «здорову», і паретичну кінцівки: пацієнт вчиться координувати реагувати двома ногами чи руками на раптову зміну, причому сильна кінцівка часто «домінує» у відповіді, допомагаючи слабкій включитися. Отже, пертурбаційне тренування можна розглядати як сучасний розвиток ідеї контралатеральної фасилітації на рівні постуральних рефлексів. Воно підвищує

впевненість пацієнтів у рухах та зменшує страх падіння, особливо якщо поєднується з підтримкою (наприклад, страхувальним поясом). Метод рекомендований для покращення динамічної рівноваги у неврологічних хворих і доповнює інші види реабілітації, забезпечуючи перенесення навичок у реальні умови ходьби та стояння.

Механізми реалізації контралатеральної фасилітації. Сучасна наука виділяє декілька ієрархічних рівнів реалізації контралатеральної фасилітації, що охоплюють центральні (кортикальні), спинальні та периферичні механізми. Їх інтеграція формує підґрунтя для двобічної нейром'язової взаємодії навіть при односторонньому впливі.

1. Центральний (кортикальний) рівень

Односторонні довільні рухи, особливо високої інтенсивності, викликають двосторонню активацію моторної кори. За даними функціональної МРТ та транскраніальної магнітної стимуляції, така активація спостерігається навіть під час простих односуглобових вправ [9; 16]. Відзначено, що з повторенням рухів активується не лише моторна кора контралатеральної півкулі, а й дзеркальні зони у гомологічних структурах ураженого боку, що свідчить про включення механізмів нейропластичності. Саме ця нейропластичність лежить в основі ефектів cross-education, а також ефективності двосторонніх вправ і терапії примусового використання (CIMT).

Особливу роль відіграє мозолисте тіло, через яке відбувається транскалозна передача збудження. Зміцнення цих зв'язків сприяє більшій функціональній симетрії між півкулями. Крім того, дослідження доводять, що ментальна уява рухів та дзеркальна терапія можуть викликати подібну кортикальну активацію — навіть без реального виконання руху, що розширює можливості застосування у пацієнтів із тяжкими парезами.

2. Спинальний (рефлекторний) рівень

Контралатеральна фасилітація також реалізується через механізми на рівні спинного мозку. Інтернейронні зв'язки забезпечують перехресні рефлекси, наприклад рефлекс підтримки Шеррінгтона або фазова синхронізація, притаманна центральним генераторам патернів (CPG).

У роботах V. Dietz (2016) [6] показано, що стимуляція рецепторів навантаження

«здорової» ноги під час крокування викликає активацію розгиначів контралатеральної ноги, навіть у разі її парезу. Цей ефект активно застосовується в балансувальних тренуваннях, де навмисна стимуляція однієї ноги спричиняє компенсаторні реакції іншої.

Крім того, двостороння функціональна електростимуляція (FES) є прикладом практичної реалізації спинальних механізмів: сенсорне подразнення шкіри або суглобів сильнішої кінцівки запускає рефлекторну активність м'язів на боці слабшої.

3. Зв'язок із постуральним контролем

Контралатеральна фасилітація має тісний зв'язок із механізмами постурального контролю. Зокрема, спінальні генератори та міжкінцівкові рефлекси відіграють ключову роль у підтримці балансу під час стояння та ходіння. Наприклад, феномен перехресної реакції (описаний Шеррінгтоном [18]) є основою автоматичного перерозподілу м'язового тону між кінцівками при порушенні рівноваги. Сучасні дослідження показують, що однобічні дії, наприклад швидкий рух або зусилля сильнішою ногою, можуть провокувати компенсаторну постуральну реакцію з боку ураженої кінцівки, навіть без її активного контролю [9; 12].

Цей принцип активно використовується у тренуваннях *anticipatory postural adjustments* (антиципаторні постуральні реакції) (APA), коли навмисні рухи однією кінцівкою викликають передбачувані стабілізуючі реакції з іншого боку. Такі вправи ефективні на ранніх етапах відновлення, коли пряма активація паретичної сторони ще обмежена [12].

Таким чином, контралатеральна фасилітація не лише сприяє м'язовій активації, а й підтримує цілісну моторну стратегію, забезпечуючи стабільність тіла через взаємодію кінцівок на рівні центральної нервової системи [15].

4. Периферичний (м'язовий) рівень

Хоча основні ефекти *cross-education* пов'язані з ЦНС, дослідження вказують на можливу участь гуморальних і метаболічних механізмів. У відповідь на силове тренування однієї кінцівки в крові підвищується рівень факторів росту, гормонів, міокінів, які теоретично можуть мати вплив на гомологічні м'язи іншого боку. Проте в більшості досліджень не виявлено значного зростання м'язового об'єму в нетренованій кінцівці, тобто зростання сили зазвичай не супроводжується гіпертрофією

[12]. Це свідчить про домінування нейронних механізмів над морфологічними.

Таким чином, аналіз сучасних досліджень свідчить, що ефективність контралатеральних підходів значною мірою залежить від параметрів втручання та індивідуальних особливостей пацієнтів. Зокрема, у літературі обговорюється різний внесок центральних механізмів, таких як двостороння активація моторної кори та міжпівкульні взаємодії, і периферичних рефлекторних процесів у формування ефекту *cross-education*. Також показано, що клінічний ефект контралатеральної фасилітації може варіювати залежно від типу ураження центральної нервової системи, віку пацієнтів та ступеня функціональних обмежень.

Перспективи подальших досліджень.

Попри досягнутий прогрес, залишаються відкритими питання оптимізації застосування контралатеральної фасилітації у фізичній терапії. Подальші дослідження мають бути спрямовані на визначення найбільш ефективних режимів перехресного тренування (типів м'язових скорочень, інтенсивності та тривалості навантаження), окреслення меж клінічного застосування цього підходу у різних категорій пацієнтів, а також оцінку тривалості збереження досягнутих функціональних покращень. Перспективним напрямом є інтеграція контралатеральних методів із сучасними технологіями нейрореабілітації з урахуванням механізмів нейропластичності, сенсомоторної інтеграції та індивідуальних особливостей ураження нервової системи.

Висновки. Концепція контралатеральної фасилітації опори пройшла складний і багатовекторний еволюційний шлях — від експериментів із рефлексми спинного мозку на початку ХХ століття до формування сучасних доказових моделей нейрореабілітації, що базуються на нейропластичності та міжпівкульній інтеграції. На кожному історичному етапі ключові відкриття — рефлекс перехресного розгинання (Шеррінгтон), центральні генератори патернів (Браун), іррадіація при PNF (Кабат), асоційовані реакції (Бруннстром), теорії моторного навчання (Карр і Шеперд), ефекти примусового використання (Тауб) — поступово трансформували наше розуміння взаємодії між кінцівками у процесі контролю руху та відновлення після уражень ЦНС.

Сучасні нейрофізіологічні та клінічні дослідження однозначно доводять, що рухи сильної

кінцівки можуть не лише пасивно «допомагати», а й активно сприяти активації, підтримці тону, формуванню нових моторних програм в ураженій кінцівці. Механізми цього включають як спинальні інтегративні схеми (ірадіація, міжкінцівкові рефлекс), так і коркові механізми – дзеркальні нейрони, двосторонній доступ до моторних програм, міжпівкульна реорганізація через мозолисте тіло.

Поява і поширення методу cross-education, ефективність якого підтверджена численними метааналізами, дала змогу офіційно включити принцип контралатеральної стимуляції в протоколи фізичної терапії при інсульті, травмах опорно-рухового апарату, а також у спортивній та педіатричній реабілітації. Важливо підкреслити, що найбільші клінічні ефекти досягаються за умов правильно побудованих навантажень: висока інтенсивність, залучення великих м'язових груп, ексцентричні та статичні вправи.

Клінічно значущим є також розвиток новітніх технологій, які реалізують принцип контралатеральної фасилітації через зворотний зв'язок (БФЕ), дзеркальні системи, віртуальні аватари, роботизовані тренажери, функціональну

електростимуляцію, керовану рухом сильної кінцівки. Це не тільки розширює арсенал методів, а й дає можливість індивідуалізувати реабілітацію, враховуючи збережені нейронні шляхи.

Загалом, включення концепції контралатеральної фасилітації опори у клінічну практику фізичної терапії дозволяє підвищити ефективність реабілітаційних втручань при неврологічних та ортопедичних станах, зокрема в умовах обмежених рухових можливостей ураженої кінцівки. Перехресні та двобічні підходи сприяють покращенню моторної функції та функціонального використання кінцівок, а також формуванню більш стабільних функціональних досягнень, що створює передумови для зростання рівня функціональної незалежності пацієнтів. Водночас, плануючи терапію, необхідно враховувати можливість як позитивного, так і патологічного впливу контралатеральних зв'язків: у пацієнтів із тяжкими ураженнями центральної нервової системи можуть виникати феномени дзеркальних рухів або небажаних синергій, пов'язані з порушенням міжпівкульної регуляції, що вимагає обережного та індивідуального застосування технік із контралатеральною активацією [9; 16; 17].

Література

1. Abreu R, Lopes AA, Sousa ASP, Pereira S, Castro MP. Force irradiation effects during upper limb diagonal exercises on contralateral muscle activation. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2015;25(2):292–297. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2014.12.004>.
2. Andrushko JW, Gould LA, Farthing JP. Contralateral effects of unilateral training: sparing of muscle strength and size after immobilization. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2018;43(11):1131–1139. DOI: <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0073>.
3. Brown TG. The intrinsic factors in the act of progression in the mammal. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*. 1911;84(572):308–319. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.1911.0077>.
4. Brunnstrom S. Associated reactions of the upper extremity in adult patients with hemiplegia: an approach to training. *Physical Therapy Review*. 1956;36(4):225–236.
5. Carr JH, Shepherd RB. The changing face of neurological rehabilitation. *Revista Brasileira de Fisioterapia*. 2006;10(2):147–156.
6. Dietz V, Schrafl-Altermatt M. Control of functional movements in healthy and post-stroke subjects: role of neural interlimb coupling. *Clinical Neurophysiology*. 2016;127(5):2286–2293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2016.02.014>.
7. Dragert K, Zehr EP. High-intensity unilateral dorsiflexor resistance training results in bilateral neuromuscular plasticity after stroke. *Experimental Brain Research*. 2013;225(1):93–104. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3351-x>.
8. Dulo OA, Dido YuM. Вплив програми фізичної терапії та ерготерапії на стан когнітивних функцій в осіб з правопівкульним ішемічним інсультом, ускладненим неглектом [The effect of a physical therapy and occupational therapy program on cognitive functions in individuals with right-hemispheric ischemic stroke complicated by neglect]. *Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія*. 2021;1:35–40.
9. Mirto M, et al. Cross-education of strength: from theory to practice in contemporary sports rehabilitation – A narrative review and clinical implications. *Sports Medicine – Open*. 2025;11:31. DOI: [10.1186/s40798-025-00931-9](https://doi.org/10.1186/s40798-025-00931-9).
10. Levine MG, Kabat H. Proprioceptive facilitation of voluntary motion in man. *The Journal of Nervous and Mental Disease*. 1953;117(3):199–211.
11. Liepert J, Uhde I, Gräf S, Leidner O, Weiller C. Motor cortex plasticity during forced-use therapy in stroke patients: a preliminary study. *Journal of Neurology*. 2001;248(4):315–321. DOI: <https://doi.org/10.1007/s004150170207>.
12. Manca A, Dragone D, Dvir Z, Deriu F. Cross-education of muscular strength following unilateral resistance training: a meta-analysis. *European Journal of Applied Physiology*. 2017;117(11):2335–2354. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3720-z>.
13. Mansfield A, Aquilino A, Danells CJ, Knorr S, Centen A, DePaul VG, et al. Does perturbation-based balance training prevent falls among individuals with chronic stroke? A randomized controlled trial. *BMJ Open*. 2018;8(8):e021510. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-021510>.
14. Oliveira KCR, de Souza LAP, Emilio MM, da Cunha LF, Bertonecello D. Overflow using proprioceptive neuromuscular facilitation in post-stroke hemiplegics: a preliminary study. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2019;23(2):399–404. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2018.05.005>.
15. Ruddy KL, Carson RG. Neural pathways mediating cross-education of motor function. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013;7:397. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00397>.
16. Sandel ME. Dr. Herman Kabat: neuroscience in translation ... from bench to bedside. *PM&R: The Journal of Injury, Function and Rehabilitation*. 2013;5(6):453–461. DOI: [10.1016/j.pmrj.2013.04.020](https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2013.04.020).
17. Smyth C, Broderick P, Lynch P, Clark H, Monaghan K. To assess the effects of cross-education on strength and motor function in post-

stroke rehabilitation: a systematic literature review and meta-analysis. *Physiotherapy*. 2023;119:80–88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physio.2023.02.001>.

18. Sherrington CS. Flexion-reflex of the limb, crossed extension-reflex, and reflex stepping and standing. *The Journal of Physiology*. 1910;40(1-2):28–121. DOI: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1910.sp001362>.

19. Vinogradov OO, Guzhva OI, Kozlovskiy IS, Volodina VS. Оцінювання динаміки відновлення функції верхньої кінцівки у пацієнтів після

перенесеного ішемічного інсульту [Assessment of the dynamics of upper limb function recovery in patients after ischemic stroke]. *Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія*. 2021;1:48–51.

20. Wolf SL, Winstein CJ, Miller JP, Taub E, Uswatte G, Morris D, et al. Effect of constraint-induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9 months after stroke: the EXCITE randomized clinical trial. *Journal of the American Medical Association*. 2006;296(17):2095–2104. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.296.17.2095>

ORCID 0000-0002-2041-8151, vkormiltsev@uni-sport.edu.ua

ORCID 0009-0004-6331-7555, sdenisenko751@gmail.com

Дата першого надходження статті до видання: 19.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 14.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.04.2026