

Тема 7. Тренування моторних навичок і нейропластичність мозку

Тренування моторних навичок

Історія питання.

2. Історія поглядів на тренування моторних навичок

Перший вагомий внесок в сучасні погляди на тренування моторних навичок було зроблено британським фізіологом і нейробіологом сером Чарльзом Шеррінгтоном. В результаті дослідів на тваринах (перерізання спинного мозку) він довів, що нервова система функціонує як єдиний цілісний орган.

Ввів уявлення про синаптичний зв'язок і вперше запровадив термін «синапс».

Відкрив та описав реципрокне гальмування.

Реципрокне гальмування – це автоматичний процес в ЦНС, який забезпечує плавний і координований рух, вимикаючи роботу одних м'язів, доки інші працюють:

Коли м'яз-агоніст скорочується, імпульси від його м'язових веретен надходять до спинного мозку. У спинному мозку ці імпульси не лише активують нейрони, що викликають скорочення агоніста, але й одночасно активують гальмівні інтернейрони. Ці гальмівні інтернейрони блокують мотонейрони, які іннервують м'яз-антагоніст.

До робіт Шеррінгтона вважалося, що рефлекси обумовлені ізольованою активністю рефлекторної дуги і не існує якогось єдиного центру, що регулює ці функції.

Його Рефлекторна теорія (на той час передова теорія) започаткувала нову еру у фізіології, довівши, що рефлекси не є ізольованою активністю, а регулюються інтегрованою роботою ЦНС.

Нобелівська премія – роботи Шеррінгтона були відзначені як ті «що відкрили нову епоху у фізіології нервової системи».

3. Теорія статичного мозку. Тривалий час домінувала в нейронауці та реабілітації домінувала «Теорія статичного мозку». Ця теорія постулювала, що структура головного мозку залишається незмінною після завершення дитячого розвитку – тобто, «мозок росте під час розвитку дитини, і з певного віку в мозку не відбувається жодних подальших змін». Ця концепція, підкріплена відомою фразою «нервові клітини не відновлюються», обмежувала терапевтичні втручання лише "вікном можливостей" (приблизно 18 місяців після ураження). Вважалося, що після закінчення цього періоду подальші функціональні та структурні зміни в мозку неможливі.

4. Ієрархічна теорія Адамса. Певний період ця теорія домінувала у реабілітації, стверджуючи, що основними проблемами при ураженні верхнього мотонейрону (наприклад, при інсульті чи церебральному паралічі) є спастичність та патологічні рухи, які необхідно «загальмувати», для того щоб «розблокувати» нормальний рух. Ієрархічна теорія і теорія статичного мозку панувала в думках терапевтів протягом багатьох років, цілих поколінь і практиків і вчених. І відповідно започаткувала багато підходів у терапії.

5. На цьому підході була заснована розроблена Бертою і Карелом Бобатами Нейророзвиткова терапія (Бобат-терапія). Метою цього методу було зниження спастичності і патологічних рухів за допомогою втручань пасивного типу, таких як:

- специфічного розташування рук (для впливу на ключові точки)

- специфічних поз, що знижують тонус – пояснюється, що таким чином розгальмовується нормальний рух

- Масажу

PNF-терапія – відпрацювання правильних рухів пацієнтів з допомогою фізотерапевта.

Основна проблема таких методів – те, що пацієнт сам не виконує рух. Оскільки цей підхід наголошував на спастичності і патологічних рухах як на основних проблемах, зміцнювальні вправи або будь-яка діяльність із залученням зусиль пацієнта були заборонені, оскільки вважалося, що вони збільшуватимуть спастичність.

- **Якщо терапевт "загальмував" патологічний тонус і "посприяв" нормальним позам, з'являтиметься нормальний рух**
- **Активні вправи, діяльність або силове навантаження заборонені**
- Вважається, що це збільшує спастичність

6. Результати таких втручань – пацієнти дійсно під час безпосереднього втручання терапевта демонстрували покращений рух. Після припинення пасивної підтримки чи гальмування, рух не переносився на самостійне виконання. Це пояснюється відсутністю переноса рухової навички. Пацієнта навчали рухатись саме з фізотерапевтом. На самостійне виконання ця навичка не переноситься. Незалежно від навички.

Фізичні терапевти замислились над практичними результатами цих методів і вони були переоцінені.

7. На сьогодні теорія статичності мозку була замінена дослідженнями, що демонструють докази нейропластичності. Едвард Тауб (нейробіолог, Університет Алабами) вперше продемонстрував результати моторного поліпшення і коркової реорганізації (нейропластичність) у приматів у 1980-х роках.

Його дослідження були спрямовані на перевірку Рефлекторної теорії Шеррінгтона. В досліді на приматах Тауб перерізав чутливі корінці (аферентні шляхи) однієї кінцівки – за Рефлекторною теорією, рух цієї кінцівки мав припинитися, оскільки зник зворотний зв'язок. Результат підтвердився – після операції макака не використовувала цю кінцівку. Несподіваний результат дало обрізання чутливих нервів двох рук іншої мавпи. Через деякий час після операції мавпа була змушена використовувати кінцівки, намагаючись дотягнутися до їжі. З часом мавпа відновила рухливість майже до початкового рівня.

Досліди Тауба спростували Рефлекторну теорію, продемонструвавши, що рух не є просто автоматичною відповіддю на зовнішні стимули (рух = рефлекс = чутливий зворотній зв'язок = обов'язкова неушкоджена рефлекторна дуга), а вимагає мотивації та активної участі мозку навіть за відсутності чутливого зворотного зв'язку.

Цей парадокс (нерухомість кінцівки при односторонньому ураженні та відновлення кінцівок при двосторонньому) Трауб назвав явищем навченого незастосування (learned non-use): якщо мозок звикає, що можна обійтись здоровою рукою, він активно блокує /гальмує спроби задіяти уражену. Для доведення цієї гіпотези Тауб видалив чутливий нерв на одній руці третьої мавпи, а здорову кінцівку зафіксував пов'язкою. Мавпа була змушена активно тренуватись ураженою рукою і відновила функцію. Після зняття пов'язки перед ним була макака з двома функціональними кінцівками. Це розуміння лягло в основу Терапії, індукованої обмеженням (СІМТ).

8. Ще 20 років досліджень і результати, отримані Таубом були успішно перенесені на пацієнтів з інсультом. Було підтверджено можливість тренувати паралізовану частину тіла та досягати прогресу навіть у пацієнтів з терміном після інсульту, що перевищував 18 місяців (спростування Теорії статичного мозку). Дослідження показали, що при забезпеченні відповідних умов для навчання мозок може адаптуватися і навчатися новим завданням.

Як це відбувається? Рухові функції можуть взяти на себе сусідні, неушкоджені зони кори мозку. Розвиток функціональної магнітно-резонансної томографії підтвердив, що неушкоджені ділянки мозку внаслідок інтенсивних тренувань можуть активуватися, «беручи на себе» задачу, що раніше виконувалася пошкодженою ділянкою мозку. Це поліпшення функції може відбуватися у тривалому періоді після перенесеного ураження головного мозку. **Це явище назвали нейропластичність.**

Важливе доповнення: Дослідження показали, що поліпшення функції відбувалося без змін у спастичності та патологічних синергіях. Пацієнти досягали успіху, працюючи над навичкою у тих рухових обмеженнях, які в них були. (Спростування ієрархічної теорії).

9. Роботи Тауба спричинили еволюцію розуміння **Теорії моторного контролю**. Було остаточно спростовано ієрархічну модель неврологічного контролю і відновлення (яка була основою Бобат-терапії). Тепер ми знаємо, що контроль руху не здійснюється за ієрархічним принципом, в якому спастичність і патологічні рухи прикривають нормальний рух. Функціональний рух – це результат спільної роботи багатьох систем, які забезпечують рівновагу, силу м'язів, моторний контроль, сенсорний контроль і тонус м'язів. Неврологічне ушкодження може вплинути на один або на всі ці компоненти. Терапія, спрямована лише на один компонент, не обов'язково змінює інші компоненти.

Ця зміна наукової моделі призвела до такого висновку: активні (силові) вправи для паретичних м'язів у пацієнтів з ураженнями верхнього мотонейрону є корисними та НЕ підвищують спастичність. Це підтверджується також даними про те, що ізольоване зниження спастичності (за допомогою ботулінотерапії чи селективної дорзальної ризотомії) не призводить до автоматичного відновлення функції. Отже, спастичність є лише одним, хоч і важливим, компонентом рухового дефіциту.

10. Сучасна модель моторного контролю. Цю модель також називають Теорією Динамічних Систем (Dynamical Systems Theory). Рух виникає в результаті взаємодії трьох компонентів 1) Людини, 2) Навколишнього середовища та 3) Завдання. Терапевти повинні враховувати, які характеристики, ресурси та обмеження кожної складової впливають на здатність пацієнта рухатися та як кожним з них можна маніпулювати під час втручання для покращення рухового навчання та ефективності руху.

Ця ідея «маніпулювання обмеженнями для самоорганізації рухової поведінки» - одна з найважливіших ідей сучасної фізичної терапії (таблиця).

Маніпуляція обмеженнями → Активний пошук (з боку НС) → Самоорганізація → Нейропластичність.

Термін	
Обмеження	Фактори (внутрішні або зовнішні), що обмежують діапазон можливих рухових рішень пацієнта. Ці обмеження можуть бути в Людині, Завданні або Середовищі.

Маніпулювання Обмеженнями	Це стратегія фізичного терапевта, що полягає у свідомій зміні одного або декількох факторів (Людина, Завдання, Середовище) для того, щоб змусити пацієнта відмовитися від патологічних/непродуктивних рухів і спробувати нові, більш функціональні рухові стратегії.
Самоорганізація	Здатність рухової системи спонтанно (без детальної свідомої інструкції) знаходити найефективніше рухове рішення для досягнення поставленої мети, виходячи з поточних обмежень.

У простому викладенні це означає:

«Створіть умови, щоб пацієнт сам знайшов кращий рух».

«Змініть завдання або середовище, щоб змусити мозок рухатися по-новому».

«Не виправляйте рух, а змініть правила, щоб рух став правильним».

Замість того, щоб пасивно виправляти чи гальмувати, фізичний терапевт має активно змінювати умови (додавати обмеження), в яких виконується завдання. Це змушує нервову систему пацієнта самостійно знаходити нові, більш ефективні рухові рішення, що індукує нейропластичність.

Компонент обмеження	Приклад обмеження	Практика маніпулювання	Самоорганізація
Людина	Пацієнт після інсульту використовує лише здорову руку	Обмеження здорової руки (СІМТ)	Мозок змушений реактивувати та тренувати паретичну руку, що індукує нейропластичність.
Завдання	Пацієнт підіймається зі стільця, штовхаючи себе здоровою рукою.	Завдання змінено: підймання зі стільця без використання рук (руки схрещені на грудях).	Пацієнт змушений перенести вагу тіла вперед та активувати паретичні м'язи ніг, замість використання компенсації.
Середовище	Пацієнт не може підтримувати рівновагу на нерухомій підлозі.	Створення нестійкого середовища (ходьба по м'якій доріжці, балансувальній подушці).	Система рівноваги змушена швидко адаптуватися та створювати нові, більш ефективні стратегії постурального контролю, підвищуючи стійкість.

11. Компонент «Людина». Системи організму, які сприяють здатності людини виконувати цілеспрямовані (функціональні) рухи.

Сенсорні системи сприяють контролю за навколишнім середовищем, а також за положенням і станом тіла під час руху.

Інтеграційна, когнітивна, пам'ятна, мотиваційна системи та системи планування працюють разом, щоб визначити, як цілеспрямоване завдання найкраще реалізувати, виправити або адаптувати для успіху.

Гомеостатичні, вегетативні та кардіореспіраторні системи передбачають фізіологічні потреби та забезпечують достатню кількість кисню та глюкози для виконання завдань.

Нервово-м'язова система + скелетні м'язи – точно налаштовує постуральний контроль, тонус і залучення таким чином, щоб опорно-руховий апарат міг ефективно використовуватися для досягнення мети руху. Безперервний зв'язок і взаємодія між фізіологічними системами відбувається до, під час і у відповідь на рух, так що і прямий і зворотний зв'язок можуть миттєво впливати на виконання завдання.

Фізичний терапевт має працювати не лише з нервово-м'язовою системою.

12. Компонент «Завдання». Завдання є другим важливим компонентом рухової поведінки. Характер завдання, яке намагаються виконати, також впливають на рух. Функціональне завдання може вимагати від пацієнта організації цілеспрямованого руху для досягнення однієї або кількох із наступних цілей контролю рухів:

- Підтримання або коригування антигравітаційної пози (статичний або реакційний постуральний контроль)
- Перехід з одного стійкого положення в інше (наприклад, перехід із положення сидячи в положення стоячи)
- Переміщення кінцівки або всього тіла в просторі (наприклад, дотягнення, підняття, перенесення, ходьба, підйом по сходах, ходьба по схилах, уникнення перешкод, стрибки, біг)
- Використання або маніпулювання інструментами, що відповідають завданню (наприклад, допоміжні пристрої, предмети, необхідні для ADL).

Ціль	Основна мета контролю	Клінічний фокус у ФТ
Постуральний контроль	Стабілізація. Боротьба з гравітацією.	Стійкість. Баланс.
Перехідний контроль	Зміна положення. Включає початок та завершення руху.	Функціональність (пересідання, підйом)
Локомоція/переміщення	Переміщення. Зміщення кінцівки або тіла в просторі.	Мобільність (ходьба, досягання)
Маніпулятивний контроль	Взаємодія. Використання рук/тіла для роботи з об'єктами.	Спритність та ADL (дрібна моторика, побут)

Ці чотири цілі охоплюють весь спектр людської рухової активності, згрупованої за основною метою контролю. Така структура цілей забезпечує логічну ієрархію для оцінки та тренування пацієнта: спочатку ФТ має забезпечити стабільну основу, потім навчити змінювати цю основу, потім переміщувати її, нарешті, забезпечити взаємодію зі світом. Саме тому класифікація цілей є фундаментальною основою для розробки будь-якої програми, орієнтованої на завдання, в нейрореабілітації, допомагає ФТ аналізувати рух та встановлювати пріоритети в терапії.

Класифікація завдань для планування терапії

Для фізичного терапевта функціональні завдання класифікують за двома основними критеріями: організацією руху (структурою) та передбачуваністю середовища.

За організацією руху рухові завдання поділяють на:

Дискретні – рухи з чітким початком і кінцем (взяти чашку, натиснути кнопку).

Серійні – послідовність дискретних рухів, що виконуються у певному порядку (перехід із сидячи в стоячи, одягання).

Безперервні – рухи, що не мають чіткого початку та кінця і виконуються циклічно (біг, їзда на велосипеді). Рішення про припинення руху приймає виконавець.

За передбачуваністю середовища рухові Завдання поділяють на:

Закриті навички (так звані, closed skills) – виконуються у передбачуваному, стабільному середовищі, де рух може бути повністю спланований заздалегідь (ходьба рівною, порожньою кімнатою).

Відкриті навички (open skills) – виконуються у непередбачуваному, мінливому середовищі, що вимагає постійної адаптації та швидкого коригування рухів (ходьба по вулиці).

Тренування зазвичай прогресує від дискретних/закритих навичок (для освоєння базового контролю) до серійних/відкритих (для досягнення функціональності та переносу навичок у реальне життя).

Приклад дій фізичного терапевта для пацієнта після інсульту на основі сучасної теорії моторного контролю

1. Визначення функціональної цілі

Пацієнт після інсульту, має помірний правобічний геміпарез.

Проблема/дисфункція (компонент «Людина»): зниження сили та контролю правої ноги, порушення рівноваги та страх падіння.

Функціональна ціль: пацієнт зможе самостійно підніматися та спускатися сходами у своєму будинку, тримаючись за поручень.

2. Аналіз Завдання. Долання сходів – це серійне завдання, яке складається з окремих дискретних завдань; може бути закритим та відкритим (сходи вдома або в інших умовах).

Етап	Цілі контролю рухів (розбиваємо ціль)	Необхідна навичка
Підготовка	Підтримання антигравітаційної пози	Стабільність, перенесення ваги на уражену ногу
Підйом	Переміщення паретичної кінцівки	Сила у здоровій нозі, координація підйому паретичної ноги
Спуск	Перехід з одного стійкого положення в інше	Ексцентричний контроль, постуральний контроль

3. Планування втручання. Маніпулювання обмеженнями.

А. Початковий етап: тренування дискретних закритих навичок (безпека та основа)

- Фокус на силі, перенесенні ваги та безпеці.
- Маніпуляція Завданням (полегшення) – замість сходинок тренування на 1-сходинковому ступі.
- Маніпуляція Середовищем (зменшення складності, посилення зовнішньої підтримки) – використання паралельних брусів або міцного поручня.
- Маніпуляція обмеженням Людини: нагадувати пацієнту про необхідність активного використання ураженої ноги для стабілізації (унікати компенсації здоровою стороною).

Б. Проміжний етап: тренування серійних закритих навичок

- Фокус на ритмічності рухів.
- Маніпуляція Завданням (ускладнення): тренування підйому та спуску на 3–4 сходинки, але безперервно (перейшли з дискретного на серійне завдання).
- Маніпуляція Середовищем (зниження підтримки) – прибрати паралельні бруси, використовувати лише один поручень; або зміна поверхні, наприклад, сходинки з килимовим покриттям.
- Маніпуляція обмеженням Людини (когнітивне ускладнення): додати подвійне завдання.

В. Кінцевий етап: тренування серійних відкритих навичок

- Фокус на адаптації та швидкому реагуванні.
- Маніпуляція Завданням (ускладнення): пацієнт несе предмет в одній руці (імітація реального життя, відкрита навичка).
- Маніпуляція Середовищем – тренування на сходах без поручня (за умови безпеки).

Як прокачати навичку аналізу завдань:

1. Візьміть типове щоденне завдання і запишіть кожен окремий рух.
2. Визначте, на якому етапі цього завдання пацієнт втрачає контроль або компенсація стає патологічною? Саме в цьому місці потрібно маніпулювати обмеженнями.
3. Ставте запитання за моделлю «Людина – Завдання – Середовище»:
 - людина – що обмежує рух (сила, баланс, біль, страх, увага)?
 - завдання – як можна спростити/ускладнити структуру (дискретне/серійне) або вимоги до маніпуляції (легке/важке)?
 - середовище – як можна змінити стабільність/непередбачуваність (закрите/відкрите) або сенсорне навантаження.

13. Середовище є третім компонентом сучасної моделі моторного контролю, що охоплює навколишній контекст або умови, в яких відбувається цілеспрямований рух. Фізичний терапевт повинен не лише досліджувати, а й під час втручання цілеспрямовано маніпулювати цим контекстом для оптимізації рухового навчання.

Фізичне середовище включає простір, поверхні, освітлення та наявність перешкод. Терапевт має оцінити:

Комфорт та стимуляція: чи є фізичне середовище зручним, візуально цікавим і стимулюючим, але не надто відволікаючим або складним для поточної фази реабілітації?

Передбачуваність: чи виникає рухове завдання у передбачуваному середовищі (початковий етап), чи потрібна непередбачуваність (відкриті навички)?

Терапевт повинен не просто створити комфортне середовище, а цілеспрямовано маніпулювати непередбачуваністю для тренування адаптивності ЦНС. Чим більше терапевтичне середовище схоже на реальні умови життя пацієнта, тим кращим буде перенос навички у повсякденне життя. Приклади маніпуляції:

- сенсорні зміни – раптове вимкнення світла, додавання фонового шуму, зміна поверхні;
- зміни простору: раптова поява перешкод, які потрібно обійти, або рухомі об'єкти.

Важливе значення має емоційне середовище, оскільки воно впливає на мотивацію та страх невдачі. Терапевти повинні враховувати цей контекст, що ґрунтується на міжособистісній взаємодії:

Чи людина відчуватиме підтримку та наснагу, коли вона йде на ризик і робить помилки як частину розвитку навички?

Чи емоційне середовище сприяє занепокоєнню щодо негативної критики чи страху невдачі, що може блокувати активне рухове навчання?

14. Людський рух, або руховий контроль, є продуктом взаємодії Людини (з усіма її системами та підсистемами), Характеру конкретного завдання та Характеристик середовища, в якому він виконується. Ця концепція, відома як Теорія Динамічних Систем, доводить, що рух є цілеспрямованим і адаптивним. Фізичні терапевти /ерготерапевти повинні оцінювати джерела рухової дисфункції саме через призму цих трьох факторів, що дозволяє вивчати альтернативні

стратегії руху та цілеспрямовано адаптувати чи змінювати завдання чи середовище для покращення результатів.

Цей підхід кардинально відрізняється від історичних методів, таких як Бобат-терапія. Хоча деякі техніки позиціонування пацієнта можуть бути корисними для навчання сімейного догляду, загальні підходи пасивного "сприяння нормальному руху" або "гальмування патологічного тону" були замінені через їхню неефективність. Сучасні докази показують, що такі пасивні втручання не мають тривалого або вимірюваного впливу на функцію пацієнта, оскільки не індукують необхідну нейропластичність. Таким чином, сучасна фізична терапія має бути активною, орієнтованою на завдання і вимагати, щоб пацієнт був активним учасником процесу навчання та самостійно шукав рухові рішення.