

Тема 7. Тренування моторних навичок і нейропластичність мозку

Нейропластичність

15. Нейропластичність – це здатність ЦНС адаптуватися, структурно та функціонально змінюватися у відповідь на вимоги, що до неї пред'являються. Це відбувається під час нормального дозрівання ЦНС або навчання новим навичкам, це також відбувається за відповідної терапії після ураження/травми. Для реабілітації це означає, що нервова тканина здатна до перебудови після пошкодження.

Важливо розрізняти:

Короткочасну (швидку, функціональну) пластичність – збільшення ефективності передачі по існуючим синапсів, що відбуваються протягом хвилин і годин і є першим етапом моторного навчання.

Довготривалу пластичність – структурні зміни, що вимагають часу і закріплюють навичку.

Тип пластичності	Зміни	Важливість для ФТ
Короткочасна (функціональна)	Зміни в роботі синапсів	Це пояснює швидкі поліпшення в контролі рухів, які пацієнт відчуває протягом одного сеансу терапії. ФТ використовує це для полегшення руху та первинного навчання.
Довготривала (структурна)	Фізичні зміни (спрутинг, реорганізація, нейрогенез).	Це пояснює тривале функціональне відновлення. ФТ повинен забезпечити високу інтенсивність і повторюваність, необхідну для закріплення нових навичок.

16. Вивчення процесів нейропластичності з використанням сучасних технологій нейровізуалізації дозволило визначити основні структурно-функціональні **механізми нейропластичності**, які активуються під час терапії. До них відносяться:

- Синаптична потенціація – це посилення синаптичної передачі, яке вважається клітинною основою моторного навчання та пам'яті;

- Спрутинг (від англ. «to sprout» - пускати паростки, розгалужуватися); утворення нових гілок із неушкоджених аксонів/дендритів. Найчастіше це відбувається за рахунок збережених аксонів, які починають активно розростатися і розгалужуватися, даючи численні волокна. Цей механізм включає як формування нових зв'язків у ЦНС, так і колатеральне розгалуження до денервованих м'язових волокон або ділянок шкіри (при ураженні периферичних нервів).

- Реорганізація КГМ – неушкоджені ділянки кори мозку можуть розширювати своє функціональне представництво, беручи на себе функції пошкодженої ділянки.;

- синаптичний прунінг – синаптичне спрощення або «обрізання» зайвих, слабких синапсів та посилення працюючих зв'язків.

- Ремієлінізація.

- Нейрогенез: постійне утворення нейронів зі стовбурових клітин у зубчастій звивині гіпокампу, нюховій цибуліні, смугастому тілі.

17. Процес нейропластичності тісно пов'язаний з феноменом **синаптичного прунінгу**. У цьому процесі велика роль відводиться сну. Саме під час сну клітини мозку частково зменшуються в об'ємі, поступаючи місцем гліальним клітинам, які буквально «обрізають»

слабкі або зайві синапси, позначені спеціальним білком. Це явище можна порівняти з дефрагментацією диска на комп'ютері, що очищає систему і робить її більш ефективною.

Згідно з даними американських досліджень (Стівен Хайман, Бети Стівенс та ін., 2016), порушення процесу *синаптичного прунінгу* може мати серйозні наслідки; наприклад, надмірне скорочення числа синапсів (аномальна втрата сірої речовини) є однією з імовірних причин розвитку шизофренії. В даний час знайдено ген шизофренії, що є частиною імунної системи і здатний запускати надмірне скорочення числа синапсів нейромережі.

Клінічне значення: якісний і достатній сон є критично важливим для консолідації (закріплення) нових моторних навичок, набутих пацієнтом під час фізичної терапії.

18. До 90-х років минулого століття вважалося, що «нервові клітини не відновлюються». У 90-х роках було відкрито феномен *нейрогенезу* – постійної генерації нервових клітин (нейронів та глії) в певних ділянках мозку, зокрема у зубчастій звивині гіпокампа, нюховій цибулині та смугастому тілі. У 2013 році було показано, що в гіпокампі людини щодня народжується близько 700 нервових клітин. Відкриті фактори активації нейрогенезу:

- фізична активність (аеробна),
- продовження навчання та когнітивна стимуляція,
- дієта, певні ліки (не доведено)

та фактори, що інгібують нейрогенез: старіння, стреси.

Після народження нові нейрони мігрують до різних областей, підтримуючи "нейронну дієздатність мозку". Це є науковим обґрунтуванням для використання інтенсивного, аеробного тренування у нейрореабілітації.

Дієта, що активізує нейрогенез

Доведено, що певні харчові звички та компоненти харчування мають прямий вплив на стимуляцію нейрогенезу (зокрема, у гіпокампі). Найбільш науково обґрунтованою є дієта, багата на протизапальні та антиоксидантні елементи, яка сприяє здоров'ю судин і зменшує окислювальний стрес. Середземноморська дієта, багата на овочі, фрукти, цільні злаки, оливкову олію та рибу, є золотим стандартом для підтримки здоров'я мозку.

Харчові компоненти, що стимулюють нейрогенез

Омега-3 жирні кислоти (DHA). DHA є структурним компонентом мембран нейронів у сірій речовині. Дослідження показують, що достатнє споживання Омега-3 сприяє виживанню нових нейронів і необхідне для формування нових синапсів та функціонування BDNF (нейротрофічного фактора мозку).

Флавоноїди та Антиоксиданти (Ягоди, чорниця, малина, зелений чай, темний шоколад). Ці речовини, зокрема з ягід (антоціани), проникають через гематоенцефалічний бар'єр. Вони зменшують окислювальний стрес і хронічне запалення в мозку, які є основними інгібіторами нейрогенезу. Вони також безпосередньо активують сигнальні шляхи, що стимулюють нейрогенез у гіпокампі.

Цільні злаки та волокна (контроль глікемії). Хоча їхній вплив не такий прямий, як у Омега-3, вони важливі, оскільки запобігають різким стрибкам рівня глюкози. Хронічна гіперглікемія та інсулінорезистентність пригнічують нейрогенез. Таким чином, ці продукти створюють стабільне метаболічне середовище, необхідне для успішного росту та виживання нових нейронів.

Висновок: аеробні вправи є, мабуть, найпотужнішим і доведеним немедикаментозним стимулятором нейрогенезу у дорослих. Вони підвищують рівень BDNF (нейротрофічний фактор мозку), який є базовим для росту і виживання нових нейронів.

19. В даний час виділяють *Дві форми нейропластичності*:

1. Адаптивна форма – це будь-яка зміна ЦНС, яка є корисною для організму та призводить до покращення функціонального результату. У позитивній ролі нейропластичності виділяють три основні напрямки:

- забезпечення нормального дозрівання нервової системи;
- функціонування організму залежно від актуальної потреби;
- відновлення функції/репарація – спрямована компенсація втраченої функції з подальшою реорганізацією нейрональних мереж після пошкодження.

Нейропластичність лежить в основі розвитку та функціонування організму, причому формування нейрональних мереж відбувається залежно від актуальної потреби. Так, при виконанні певного завдання залучаються ділянки фізіологічної нейрональної мережі пропорційно до складності завдання із залученням існуючих, але неактивних на даний момент елементів функціональної системи. Необхідною умовою для адаптивної реорганізації є інтенсивна та цілеспрямована сенсорна та моторна активація (безперервний аферентний потік) для підтримки та розширення кортикального представництва певної частини тіла (в нашому випадку паретичної).

2. Неадаптивна форма – це зміни ЦНС, які є патологічними та погіршують функціональний стан пацієнта, ускладнюючи реабілітацію. Хронічні больові синдроми, розвиток спастичності, наркотична/лікарська залежність, а також феномен вивченого невикористання (Learned Non-Use).

20. Основою позитивного профілю нейропластичності є церебральний і когнітивний резерв.

Церебральний резерв – це структурна здатність мозку справлятися з пошкодженням за рахунок великого анатомічного запасу нейронних елементів (великий об'єм мозку, велика кількість нейронів і синапсів).

Когнітивний Резерв – це активна, функціональна здатність мозку ефективніше використовувати наявні нейронні мережі. Це дозволяє мозку використовувати альтернативні нейронні шляхи для виконання завдань, навіть за наявності пошкодження. Основні складові: високий рівень освіти, інтелектуальна та професійна активність протягом життя.

ФТ не може змінити церебральний резерв пацієнта, але може активно тренувати когнітивний резерв через подвійні завдання, складні та нові рухові завдання, що вимагають уваги, планування та навчання. Це допомагає мозку застосовувати альтернативні шляхи.

21. Докази нейропластичності.

А. Пластичність як нормальна адаптація (на здорових людях)

Нейропластичність постійно відбувається у здоровому мозку у відповідь на інтенсивний досвід. Музиканти – їхня моторна кора (руки) та слухова кора демонструють збільшене кортикальне представництво, що відображає високу спеціалізацію навичок. Лондонські таксисти – постійне просторове навчання призводить до збільшення об'єму гіпокампа, що є доказом пластичності, пов'язаної з пам'яттю та навігацією.

В. На пацієнтах.

Гостре ураження мозку саме по собі є потужним чинником, що активує процеси нейропластичності. Найбільший нейропластичний потенціал відзначається у КГМ, тому переважна кількість досліджень пластичності нервової системи була проведена у пацієнтів, які перенесли інсульт. Реорганізація різних областей КГМ після ГПМК була неодноразово доведена за допомогою магнітно-резонансної томографії.

Дорослі після інсульту:

Тренування ходьби (Добкін, 2004). 10-тижневе тренування з підтримкою ваги тіла на біговій доріжці. фМРТ показала збільшення активації сенсомоторної кори під час активного руху гомілково-ступневого суглоба в порівнянні до початку терапії. Клінічний висновок: використання максимальної швидкості та великої кількості кроків забезпечує необхідну інтенсивність та повторюваність для активації механізмів довготривалої пластичності.

Автоматизований тренінг (Лазаріді, 2013). 8-тижневий тренінг верхньої кінцівки продемонстрував збільшення товщини кори та кількості нервових шляхів.

Діти з ДЦП. Використання СІМТ у дітей з геміплегічним ЦП (Cope 2010; Sutcliffe 2009) показало чіткі зміни на фМРТ. Клінічний висновок: СІМТ є науково-доказовим методом для подолання вивченого невикористання шляхом примусової активації ураженої півкулі.

22. Принципи нейропластичності

10 ключових принципів нейропластичності були сформульовані та систематизовані американськими нейробіологами Тімоті Клеймом та Стівеном Джонсом. у 2008 році вони опублікували оглядовий документ під назвою «Принципи навчання, що викликає пластичність», де акумулювали та структурували висновки з численних досліджень на тваринах та людях. Вони продемонстрували, що лише тоді, коли реабілітаційні втручання відповідають цим 10 умовам, відбувається стійка та вимірювана нейронна реорганізація. Ця стаття швидко стала базовим посібником для фахівців з нейрореабілітації, оскільки вона надала чітку науково-обґрунтовану модель для переходу від старих, пасивних методів до активної, доказової практики, орієнтованої на завдання.

1. Використовуй або втра тиш: невикористана функція погіршується. Набута втрата функції може статися, якщо орган чи кінцівка не використовуються. Це пряма протидія феномену вивченого невикористання. ФТ повинен активно запобігати цьому, забезпечуючи раннє включення ураженої кінцівки/функції.

2. Використовуй і покращуй: використовувана функція покращується. Достатня інтенсивність та обсяг цільової практики призводять до збільшення представництва цієї функції в мозку

3. Специфічність. Навчання, яке ми практикуємо має бути таким же, або максимально побідним до завдання, яке ми хочемо вирішити. Ви отримаєте те, що ви тренуєте. Тренування має бути орієнтоване на завдання. Якщо мета – ходьба, пацієнт має ходити, а не просто зміцнювати м'язи ніг у положенні сидячи.

4. Значущість має значення. Достатньо значуще завдання, яке має сенс для пацієнта, швидше сприятиме пластичності. Мозок буде задіяти ресурси лише в ті завдання, які вважає важливими для виживання чи життя. Терапія повинна бути мотиваційною і пов'язаною з функціональними цілями пацієнта.

5. Повторення. Для посилення нейропластичності потрібна достатня кількість повторень. Багаторазові спроби вирішити моторну проблему корисні для пластичності та навчання. ФТ має шукати шляхи для збільшення дозування вправ.

6. Інтенсивність. Дозування, частота і тривалість навчання є важливими. Інтенсивність визначає, скільки нейротрофічних факторів виділяється. Зазвичай це вимагає роботи на рівні 60–80% від максимальної ЧСС або високої суб'єктивної оцінки навантаження (по Боргу).

7. Час має значення. Рання реабілітація має найбільший потенціал для пластичності. Пізніша реабілітація також ефективна, але вимагає більшої інтенсивності для досягнення змін.

8. Вік має значення. Молодший мозок демонструє більш пластичні зміни під час навчання. Для дорослих пацієнтів потрібна вища інтенсивність, специфічність та доза.

9. Перенесення. Цей принцип часто об'єднується зі «Специфічністю». Пластичність, викликана одним тренувальним досвідом, може посилити набуття подібних навичок. Тренуючи, наприклад, баланс на одній нозі, ми опосередковано покращуємо інші види балансу та ходьби.

10. Інтерференція. Цей принцип є зворотним до «Перенесення». Пластичність, викликана одним досвідом навчання, може перешкоджати отриманню інших навичок. Наприклад, раннє тренування компенсаторних стратегій (якщо не потрібно) може перешкодити пізнішому відновленню нормальних патернів руху.

Використання принципів тренування моторних навичок та нейропластичності в терапії в пацієнтів з неврологічними ушкодженнями

23. Навчання, орієнтоване на завдання

– ґрунтується на принципі специфічності: ви отримуєте те, що ви тренуєте. Практикування частини завдання не завжди переноситься на цілу задачу. Наприклад, робота над статичним балансом покращує лише баланс, але не покращує характеристики ходи. Діяльність, спрямована на збільшення сили, рівноваги та витривалості, як частина загальної програми є важливою, але є лише засобом для підготовки системи. Вони не впливають на нейропластичність, якщо не інтегруються у тренінг, орієнтований на конкретне функціональне завдання, яке має сенс для пацієнта (наприклад, ходьба, одягання, пересадка).

24. Щоб бути ефективною, програма терапії, орієнтованої на завдання, повинна мати такі складові.

Виклик та Прогресивність. Завдання повинно вимагати достатньо нових знань і концентрувати увагу для вирішення моторної проблеми. Складність має зростати зі збільшенням майстерності – завдання має бути не занадто простим, щоб не було нудно, і не бути занадто складним, щоб не спричинити відчуття провалу або некомпетентності. Якщо пацієнт відчуває труднощі опанування компонентом завдання, спробуйте зробити його легшим.

Активна участь та Значущість. Терапія – це не пасивна діяльність, коли пацієнт знаходиться в певних положеннях або позах. Пацієнт повинен хотіти рухатися, отже завдання має бути значущим. Рухи під час реального, значущого завдання (наприклад, піднімання телефону) активують мозок інакше, ніж незначуще тренування. Запитайте пацієнта, які цілі важливі для нього.

Доза та Повторення. Тренування моторних навичок вимагає великої кількості повторень. Малюки, які вчилися ходити, проходили в середньому 701м і падали 17 разів протягом однієї години. Це виходить більше 7000 м в день! Як багато ваші пацієнти практикують ходьбу?

Варіативність та Адаптованість. Забезпечте відпрацювання цілої задачі в різних середовищах за межами клініки (організм реагує по різному у реальній та змодельованій діяльності). Можливість помилятися.

Вікові аспекти. Вік не є протипоказанням до терапії, орієнтованої на завдання, доки завдання є значущим або цікавим для пацієнта. Водночас докази показують, що чим молодший пацієнт, тим більш піддатливою є пластичність

Що виявилось ефективним після ГПМК? (за даними системних оглядів)

Найбільший ефект досягався при більшій інтенсивності, при діяльності на основі завдань, з великою кількістю повторень.

А. Покращення здатності ходити

Швидкісно-залежний тренінг на біговій доріжці (максимально можлива швидкість має найкращі результати). Це стимулює нервову систему за рахунок високої інтенсивності (інтенсивність має значення) та специфічності (ходьба покращує ходьбу).

Ходьбі по поверхні та тренування по колу

Б. Збільшення сили нижніх кінцівок та швидкості ходьби

Силові вправи та кардіореспіраторні вправи. Ці вправи є засобами, які підвищують церебральний резерв (активуючи BDNF) і готують м'язи до цільового тренування ходьби.

Електрична стимуляція (нейром'язова електрична стимуляція, транскутанна електрична стимуляція нерва) у поєднанні з ходьбою. Поєднання електростимуляції з активним рухом забезпечує синхронну активацію моторної кори та м'язів, посилюючи синаптичний зв'язок.

В. Поліпшення функції верхньої кінцівки

Індуковано-обмежуюча терапія (СІМТ). Це золотий стандарт для подолання «навченого невикористання» (Використовуй і покращуй + Інтенсивність).

Нейро-м'язова стимуляція зап'ястя і пальців.

Г. Поліпшення повсякденної діяльності (ADL)

Тренування рівноваги під час різної діяльності. Діяльність під наглядом опікуна. Індуковано-обмежуюча терапія. Високоінтенсивні тренування

Що виявилось не ефективним після ГПМК? (за даними системних оглядів)

Діяльність з балансуванням у сидінні не поліпшує ходьбу. Покращується лише рівновага при сидінні. Але, тренування рівноваги у поєднанні з діяльністю покращує активності щоденного життя (це дозволяє інтегрувати тренінг балансу в функціональний контекст).

Що ефективно після черепно-мозкової травми?

Небагато наукових праць, які досліджують ефекти терапії у пацієнтів після черепно-мозкової травми. Більшість опублікованих досліджень - це описи випадків або недостатньо контрольовані. Кокранівський Огляд 2008 року знайшов переконливі докази, що більш інтенсивні реабілітаційні програми призводять до швидшої функціональної спроможності у дорослих після черепно-мозкової травми.