

С.М. Вінчук¹, Г.С. Трепет²¹Олександрівська клінічна лікарня, Київ²Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ

Соматотопічна організація функцій мозочка

В огляді відображена еволюція поглядів стосовно соматотопічної організації функцій мозочка. Результати електрофізіологічних, клінічних досліджень останніх років із використанням функціональної магнітно-резонансної томографії переконливо підтвердили наявність соматотопічного розподілу функцій у корі мозочка людини, очевидність існування структур, відповідальних за сенсомоторну координацію, а також реалізацію когнітивних і психічних функцій.

Ключові слова: мозочок, соматотопічна організація функцій, руховий дефіцит, нерухомі функції.

Вступ

Знання особливостей і закономірностей соматотопічного представництва (лат. somaticus — тілесний, toricus — місцевий) окремих частин тіла (голова, тулуб, кінцівки) в корі мозочка мають особливе значення у клінічній практиці лікаря для топічної діагностики часточкового ураження, ідентифікації територій мозочка, відповідальних за руховий контроль, функцію мислення, психічні процеси в умовах фізіологічної норми та патології. Протягом тривалого періоду ця проблема розроблялася лише експериментально на тваринах із використанням методів подразнення чи екстирпації мозочка. Впровадження клінічних, електрофізіологічних і нейровізуалізаційних методів дослідження підтвердили наявність соматотопічного розподілу функцій у корі мозочка людини, виявили утворення, відповідальні за моторні та немоторні функції. Однак у вітчизняній літературі результати таких досліджень практично не висвітлені, що визначило доцільність підготовки цього огляду.

Розвиток вчення про соматотопічну організацію функцій мозочка

Функція мозочка на початковому етапі дослідження здебільшого вивчалася фізіологами. Тривало, майже протягом усього XIX ст., мозочок розглядали як функціонально ідентичний орган. Визнавалося лише положення італійського фізіолога Луїджі Лючіані (Luciani L., 1891) про гомолатеральні зв'язки половини мозочка з м'язами кінцівок відповідної половини тіла, що і дотепер зберегло своє значення для топічної діагностики у клінічній практиці лікаря-невролога. Лючіані вивчав функцію мозочка шляхом його екстирпації. Дослідження вченого показали, що основним руховим порушенням при ураженні мозочка є атаксія, яка включає такі симптоми, як атонія, астазія та астенія — триада Лючіані. Автор вважав мозочок допоміжним органом головного мозку, що залучається в процес координації рухового апарату.

Перші поодинокі повідомлення про існування соматотопічної функціональної локалізації в мозочку з'явилися у другій половині XIX ст. Австрійський лікар Карл Нотнагель, досліджуючи в експерименті на тваринах особливості рухових розладів при механічному подразненні різних ділянок мозочка, пов'язував виникнення падіння в сагітальній площині з ураженням черв'яка (Nothnagel C.W., 1876; цит. за: Кріль М.Б., Федорова Е.А., 1966). Пізніше він описав симптомокомплекс із проявами мозочкової атаксії, ознаками ураження окоорухового нерва та глухотою, зумовлений локалізацією патологічного процесу в ділянці чотиригорбикового тіла (Nothnagel C.W., 1889; цит. за: Кріль М.Б., Федорова Е.А., 1966).

У подальшому Феррієр і Тюрнер (Ferrier D., Turner W.A., 1893) показали, що після оперативного втручання та ураження переднього відділу черв'яка у мавп виникала схильність до падіння вперед, а після пошкодження заднього відділу — розгінання голови і схильність до падіння назад.

В.М. Бехтєрев (1905) на підставі аналізу наявних на той період експериментальних досліджень із використанням методів екстирпації, подразнення та електрофізіологічних методик зробив висновок, що мозочок не можна розглядати ні як функціонально ідентичний орган, ні як поєднання окремо існуючих центрів. Такий погляд підтверджували експериментальні дослідження Л.А. Орбелі, А.М. Зімкіна (1932), які виявили зміни вегетативного балансу при ураженні структур мозочка, що в подальшому було підтверджено клінічними спостереженнями при мозочковому інсульті (Педаченко Г.А., Пастушин І.П., 1975; Elkind M.S., Mohr J.P.; 1997). Ці факти свідчать, що мозочок не тільки регулює моторну діяльність, але й забезпечує вегетативно-трофічну функцію.

Вивчення соматотопічного представництва окремих частин тіла в мозочку набуло особливого направлення на початку XX ст. завдяки порівняльно-анатомічним дослідженням Болка (Bolk L., 1902; 1906). Основною передумовою створення локалізаційної схеми було припущення автора,

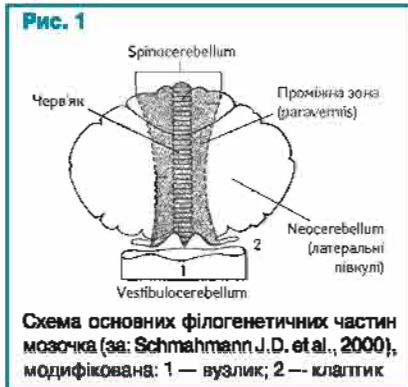
що серединний непарний відділ мозочка — черв'як іннервує м'язи голови, шиї, тулуба, а окремі ділянки кори півкуль мозочка іннервують певні відділи кінцівок. Основні положення концепції Болка стосовно порушення функції певних м'язових груп при ураженні окремих часток мозочка в основному були підтверджені результатами експериментальних досліджень (Hampson J.L. et al., 1946; Snider R.S., Eldred E., 1952). Використовуючи електрофізіологічні методи дослідження на тваринах, автори виявили іпсилатеральну активацію клітин Пуркінє в межах II–III часточок передньої частки при виконанні рухових дій ногою. Ці часточки мозочка віднесені до ділянки, що відповідає за рухи нижніми кінцівками. Це були вперше опубліковані повідомлення про соматотопічне представництво рухів у передній частці мозочка, які стали поштовхом до вивчення і визнання соматотопічної організації функцій різних частин тіла в корі мозочка.

Подальші клінічні спостереження з використанням електрофізіологічних методів дозволили дійти до висновку, що в півкулях мозочка людини існує функціональна локалізація, яка в основному відповідає положенням концепції Болка. Зокрема, півкульні ділянки ніжки I (crus I) мають особливе значення для діяльності м'язових груп верхніх кінцівок, а ділянки ніжки II (crus II) — для нижніх. Водночас схема Болка стосовно функціональної локалізації в черв'яку мозочка не знайшла підтвердження в експериментальних і клінічних дослідженнях (Snider R.S., 1950; Иргер И.М. и соавт., 1959).

Філогенетичні частини мозочка та їх функціональні зв'язки

Вчення про соматотопічну локалізацію в мозочку отримало наукове визнання в 50-х роках XX ст. і базувалося на врахуванні даних філогенезу та анатомічних зв'язків мозочка (Larsell O., 1947). В основу схеми функціональної локалізації був покладений поділ поверхні мозочка залежно від аферентних зв'язків і філогенетичної давності структур-

них утворень на три основні еволюційні частини: стародавній або вестибулярний мозочок (*archicerebellum*), старий або спіноцеребелярний мозочок (*palaeocerebellum*) і філогенетично наймолодшу форму мозочка — новий мозочок (*neocerebellum*) (Larsell O., 1947; Schmahmann J.D. et al., 2000; Leigh R.J., Zee D.S., 2006). Основні філогенетичні частини мозочка наведені на рис. 1.



Філогенетично найстарішою (стародавньою) частиною мозочка є вестибулярний (присінковий) мозочок (*archicerebellum*), який включає вузлик черв'яка і клаптик кожної півкулі, тобто клаптиково-вузликову частку. Виділення клаптиково-вузликової частки базувалося на визнанні цього комплексу вестибулярним відділом мозочка. Вона тісно зв'язана з вестибулярними ядрами стовбура головного мозку (головним чином верхнім присінковим ядром), ядром оливи, зоровою системою і важлива для підтримання рівноваги тіла, зумовленої змінами вестибулярного рефлексу. Вестибулярні імпульси, що передають інформацію про положення голови в просторі та її рухах, поступають у вестибулярний мозочок через іпсилатеральні нижні ніжки мозочка (*corpus restiforme*). Після обробки цієї інформації з кори мозочка коригуючі імпульси через ядро шатра направляються до вестибулярних ядер (ядро Дайтерса), сітчастого утворення, а від них по вестибуло-спинномозкових і сітчасто-спинномозкових шляхах ідуть до спинномозкових центрів (Larsell O., 1947; Schmahmann J.D., et al., 2000).

Отже, система регуляції пози, рівноваги тіла й управління антигравітаційним тонусом забезпечується філогенетично найстарішим вестибулярним мозочком, який функціонує за принципом зворотного зв'язку з іншими утвореннями мозочка та стовбуром головного мозку.

Старий мозочок (*palaeocerebellum*), або спіноцеребелярний мозочок охоплює решту часточок черв'яка (за винятком ділянки каудального черв'яка, яка відноситься до мостомозочкового шляху), піраміди, язичок та суміжні з черв'яком медіальні ділянки півкуль мозочка — проміжна (паравермальна) зона (*paravermis*) і парафлюклярний відділ. У спінальний мозочок (у черв'як) поступають пропріорецептивні імпульси (пропріорецепція) від спинного мозку, м'язів, суглобів, сухожилків, проксимальних частин тіла, а від дистальних частин — у проміжну зону. Інформація про положення частин

тіла у просторі та активність м'язів нижніх кінцівок надходить двома спинномозково-мозочковими шляхами: пучок Флексіга — через нижні ніжки мозочка (*corpus restiforme*) і пучок Говерса — через верхні ніжки мозочка (*brachium conjunctivum*), що закінчуються переважно у проміжних ядрах черв'яка. Вони здійснюють контроль над відхиленням рухів при виконанні команди. Зв'язок спінального мозочка з відповідною половиною тіла гомолатеральний. Він забезпечує регулювання осьових м'язів і м'язів проксимальних відділів нижніх кінцівок, виконання постуральних рухів (черв'як) та контроль дистальних м'язів через проміжну паравермальну ділянку кори. Регулювання рухів осьових м'язів і м'язів проксимальних відділів кінцівок забезпечує також пропріорецептивна інформація, яка надходить у спіноцеребелярний мозочок через коллатералі кірково-спинномозкового тракту отримує еферентну «копію» низхідних команд у локомоторній системі мозочка (Ганон В.Ф., 2002; Мументалер М. і соавт., 2012).

Новий мозочок (*neocerebellum*) включає латеральні ділянки півкуль мозочка і незначну частину каудального черв'яка (головним чином ділянки VIA, VIB), яка відноситься до мостомозочкового шляху. Включення нового мозочка в систему планування, ініціації та координації довільних рухів забезпечується його зв'язками з корою півкуль великого мозку. З різних її відділів, головним чином з лобових, тім'яних, потиличних і скроневих часток до мозочка надходять аферентні кірково-мостомозочкові шляхи, які несуть від асоціативних ділянок кори головного мозку імпульси про запланований рух; це інформація про задум руху (Schmahmann J.D., 1991). Шлях цей двонейронний: перший — кірково-мостовий шлях закінчується біля власних ядер однойменної половини мосту; другий нейрон починається від власних ядер мосту, здійснює перехрестя в його основі й під назвою мостомозочкового шляху (*tractus pontocerebellaris*) через середні ніжки мозочка (*brachium pontis*) надходить до його протилежної півкулі, де закінчується в корі у клітинах Пуркінє проміжної та латеральної ділянок півкуль мозочка. Таким чином, кожна півкуля головного мозку пов'язана з протилежною півкулею мозочка, тобто цей зв'язок гетеролатеральний.

Аферентна інформація від асоціативних ділянок кори великого мозку після переробки у корі мозочка по аксонах клітин Пуркінє надходить до зубчастого ядра мозочка, яке відіграє важливу роль в ініціації, плануванні, організації, модуляції та виконанні запланованих довільних рухів. Саме в бокових поверхнях кори півкуль мозочка і його зубчастому ядрі аферентна інформація трансформується у програму дій (Мументалер М. і соавт., 2012). У відповідь на ці сигнали зубчасте ядро мозочка надсилає імпульси по зубчато-таламичному шляху до нейронів вентролатерального ядра таламуса протилежної півкулі

головного мозку після перехрестя Вернекінга у верхній ніжці мозочка; через вентролатеральний таламус мозочкові імпульси в модульованій формі знову проєктуються на рухові центри кори премоторної та моторної ділянок півкулі великого мозку (здійснюється контроль запланованого руху). Водночас через червоноядерно-спинномозковий шлях від контралатерального червоного ядра і нижніх олив імпульси досягають клітин передніх рогів спинного мозку, через які здійснюють мозочкові впливи на скорочення м'язів, їх тонус, систему регуляції, забезпечуючи гармонійність і координованість рухів. Саме узгодженість дії пірамідної, екстрапірамідної систем і включення мозочка в систему саморегуляції нервово-м'язових апаратів та їх функціональних одиниць під час активних рухів є необхідною умовою для реалізації чітких, плавних, цілеспрямованих дій (Віничук С.М. (ред.), 2008; Мументалер М. і соавт., 2012).

Отже, мозочок як надсегментарний рівень системи регуляції рухів — філогенетично неоднозначне утворення, основні функціональні частини його — вестибулярний, спіноцеребелярний і новий мозочок відрізняються між собою аферентними та еферентними зв'язками. У мозочку відбувається інтеграція різних сенсорних впливів, перш за все вестибулярних і пропріорецептивних, які забезпечують контроль за станом рухового апарату, що дозволяє мозочку постійно проводити порівняльний аналіз плану дій і його здійснення, контролювати моторну функцію за механізмом зворотного зв'язку між мозочком і корою півкуль великого мозку.

Наведена характеристика функціональних зв'язків окремих частин мозочка з різними відділами центральної нервової системи поглибила розуміння соматотопічної організації функцій — представництва різних периферичних рецепторів органів (голова, тулуб і кінцівки) на певних ділянках черв'яка і півкуль мозочка.

Соматотопічний розподіл функцій у корі мозочка людини

Ідеальною моделлю для оцінки і визначення наявного соматотопічного розподілу функцій у корі мозочка людини можна вважати ізолювані мозочкові інсульти і використання відомого в неврології принципу — «взаємозв'язок між осередковим пошкодженням і мозочковим дефіцитом» у людини і тварин (Ferrier D., Tumer W.A., 1893; Holmes G., 1930). Це переконливо підтверджують дані клінічних і електрофізіологічних досліджень.

Результати клінічних спостережень (Asketmann H. et al., 1992), морфометричний аналіз пацієнтів із мозочковим ішемічним інсультом (Urban P.P. et al., 2003) і вивчення мозочка з допомогою багатопланових зрізів у 46 здорових осіб з використанням функціональної магнітно-резонансної томографії (MPT) (Grodd W. et al., 2005) показали, що рухова функція представлена в передній частці півкуль мозочка, переважно у часточках III–V, і мен-

ше — у частотці VI задньої частки; VIII півкульна часточка задньої частки визначена як вторинна моторна ділянка. В інших дослідженнях, що ґрунтувалися на використанні електрофізіологічних методів, були ідентифіковані ділянки у мозочку, відповідальні за координацію рухів руками, ногами, язиком. Зокрема, визначено, що соматотопічне рухове представництво для руки локалізується в іпсилатеральній передній частці мозочка у межах IV–V часточок (Fox P.T. et al., 1985); для ноги — у ділянці II–III часточок центральної півкульної часточки (Snider R.S., Eldred E., 1952); рухи язика пов'язували з активацією паравермального сегмента мозочка, який відноситься до IV–V часточок і знаходиться позаду від соматотопічного представництва для руки (Lechtenberg R., Gilman S. et al., 1978).

Соматотопічне представництво рухів рукою, ногою та язиком у передній частці мозочка людини чітко розмежоване в дослідженні M.F. Nitschke та співавторів (1996) із залученням 8 здорових осіб і використанням функціональної МРТ. Отриманий соматотопічний розподіл рухових функцій для руки, ноги і язика у передньому мозочку відповідав попереднім результатам із використанням електрофізіологічних методів дослідження.

У дослідженні В. Schoch та співавторів (2006) також повідомляється, що руховий дефіцит (порушення ходи, координації, артикуляції) зумовлений пошкодженням передньої частки мозочка. Проведений авторами статистичний аналіз функціональної локалізації у 90 пацієнтів із мозочковим інсультом з урахуванням карти «пошкодження — симптом» і використанням Міжнародної кооперативної рейтингової шкали атаксії ICARS (International Cooperative Ataxia Rating Scale; Trouillas P. et al., 1997) показав, що атаксичні розлади верхньої кінцівки значною мірою корелювали з ураженням проміжної (паравермальної) та латеральної кори півкульних часточок IV, V, зубчастого і проміжного (кулясте + кіркоподібне) ядер, які відповідають за координацію рухів. Атаксія тулуба і локомоторні порушення були пов'язані з пошкодженням ядра шатра і проміжного ядер. Ураження задньої частки мозочка не супроводжувалося у гострій стадії мозочкового інсульту значним руховим дефіцитом, хоча у подальшому могла виникати рухова дисфункція (Schmahmann J.D., Pandya D.N., 1997).

Описані атаксичні розлади співпадали з даними нещодавно опублікованої роботи J. Kopczak та співавторів (2010), де наводиться статистичний аналіз клінічних проявів карти «пошкодження — симптом» у 16 пацієнтів з ізолюваними мозочковими інфарктами, локалізація яких визначалася за допомогою МРТ-дослідження і атласа мозочка людини, що ґрунтується на МРТ-зображеннях (Schmahmann J.D. et al., 2000). Результати цього дослідження дозволили пов'язати руховий дефіцит верхньої кінцівки пацієнта з паравермальними кірковими пошкодженнями IV, V півкульних часточок, а також глибоких ядер мозочка, особливо зубчастого і проміжного. Автори

показали, що дисфункція верхньої кінцівки за такої локалізації інфарктного осередку в гострий період захворювання характеризувалася значним сповільненням рухів (брадикакінезія), до того ж вони були некоординованими і атаксичними. Сповільнення рухів кінцівок є справжнім неврологічним дефіцитом у гострий період інфаркту мозочка (Holmes G., 1917).

В іншому клініко-нейровізуалізаційному дослідженні (Ye B.S. et al., 2010) проведено статистичний аналіз клінічних і МРТ-проявів інфаркту мозочка з урахуванням часточкового ураження у 66 пацієнтів. Результати аналізу показали, що пошкодження переднього параверміса і латеральної кори передньої частки півкуль мозочка частіше проявлялося виникненням атаксії в кінцівках і дизартрією. У пацієнтів з пошкодженням каудального черв'яка (листок, горбик, язичок і вузлик) та заднього параверміса клінічно були виражені запаморочення, латеропульсія. Іпсилатеральний ністагм асоціювався із пошкодженням пірамідної часточки та мигдалика. Виникнення латеропульсії (Thömke F. et al., 2005; Lee H. et al., 2006) і ністагму (Dietrichs E., 2008; Baier B. et al., 2009) переважали у пацієнтів із унілатеральними мозочковими пошкодженнями.

Отже, наведені клінічні дослідження свідчать, що мозочок відіграє важливу роль у сенсорній координації, реалізацію якої забезпечують топографічні структури переважно передньої частки. Однак ураження мозочка не завжди проявляється руховим дефіцитом, що спонукало дослідників зосередити свою увагу на вивченні нерухових функцій задньої частки мозочка (Schmahmann J.D., Caplan D., 2006; Stoodley C.J., Schmahmann J.D., 2009; Strick P.L. et al., 2009). Такий підхід був виправданим, оскільки тривалий час у клінічній неврології існувала точка зору, що основною функціональною роллю мозочка є координація соматорухових реакцій. Таке уявлення маскувало, приховувало роль мозочка у немоторній діяльності та не могло пояснити окремі випадки виникнення когнітивного дефіциту у хворих з ураженням мозочка. Більшість попередніх досліджень з цієї тематики відображали лише гіпотези, припущення, що мозочок може відігравати роль в обробці когнітивних імпульсів, регуляції когнітивної діяльності (Albus J.S., 1971; Gilbert P.F., 1974; Leiner H.C. et al., 1993).

Результати проведених в останнє десятиріччя нейроанатомічних, електрофізіологічних, нейровізуалізаційних і клінічних досліджень підтвердили клінічну очевидність немоторної функції мозочка та роль його наймолодшої частини — *neocerebellum* в контролі за реалізацією психічних, когнітивних і емоційних функцій (Schmahmann J.D., 1991; Marien P. et al., 2001; Timmann D. et al., 2002; Schlerf J.E. et al., 2010). Зокрема, J.D. Schmahmann, J.C. Sherman (1998) при ураженні задньої частки і черв'яка мозочка першими описали клінічний стан, визначений ними як *когнітивно-афективний синдром (cerebellar*

cognitive-affective syndrome — CCAS), який характеризується поведінковим розгалмуванням, афективними розладами з емоційною нестійкістю, вираженими проявами тривожності, агресивності.

Наукове обґрунтування та ідентифікацію території мозочка, які відповідають за руховий контроль, когнітивні, інтелектуальні функції та емоційні процеси, проведено співробітниками відділення атаксії і лабораторії нейроанатомії та мозочкової неврології в лікарні Массачусетс, США (Schmahmann J.D. et al., 2009). Комплексне клінічне, нейрорадіологічне і нейроанатомічне дослідження авторів ґрунтувалося на обстеженні 39 хворих із гострим ізолюваним мозочковим інфарктом і використанні модифікованої версії Міжнародної кооперативної рейтингової шкали атаксії MICARS (Modified International Cooperative Ataxia Rating Scale; Storey E. et al., 2004), яка оцінює положення тіла, рівновагу та ходу, кінетичну функцію рук і ніг, порушення мови та окоморухові розлади. Результати цього дослідження показали, що у 26 (66,7%) пацієнтів з ішемічним інфарктом мозочка рухові розлади проявлялися порушенням ходи, дизартрією, дисметрією; в інших 13 (33,3%) обстежених не виявлялося рухового мозочкового дефіциту. Відмінність між пацієнтами груп, які мали рухові порушення, від тих, що їх не мали, визначалася локалізацією інфарктного осередку в мозочку. Отримані клінічні дані підтвердили клінічну ймовірність наявності топографічних структурних утворень моторної та немоторної функцій мозочка: *сенсомоторні функції* переважно забезпечувалися передньою часткою мозочка (часточки I–V) з представництвом у частотці VIII; *когнітивні функції* — задньою часткою мозочка (часточки VI і VII). Часточка VII включає часточку VIIA, ділянку черв'яка VIIA, півкульні ділянки ніжок I та II, часточку VIIB у черв'яку та півкулях, які відносять до мостомозочкового шляху (Schmahmann J.D. et al., 2009). Каудальний черв'як мозочка та ядро шатра разом становлять лімбічний мозочок, асоційований із лімбічним відділом півкуль великого мозку, гіпоталамусом, а їх ураження супроводжується різними емоційними, вегетативними та мнестичними розладами (Schmahmann J.D., 2004).

Отже, клінічні та нейровізуалізаційні дослідження виявили **два соматотопічні представництва частин тіла у корі мозочка людини** (Nitschke M.F. et al., 1996; Habas C. et al., 2004; Grodd W. et al., 2005; Schmahmann J.D. et al., 2009; Schlerf J.E. et al., 2010): *сенсомоторна функція* локалізується переважно у передній частці (часточки I–V), *вторинна моторна ділянка* — у частотці VIII задньої частки; *когнітивні функції* представлені у задній частці в ділянці VI і VII часточок. Ураження VII–X часточок задньої частки зумовлювали мінімальні рухові порушення або вони взагалі не проявлялися (Schmahmann J.D. et al., 2009). Соматотопографічна організація функцій мозочка схематично наведена на [рис. 2](#).

Рис. 2

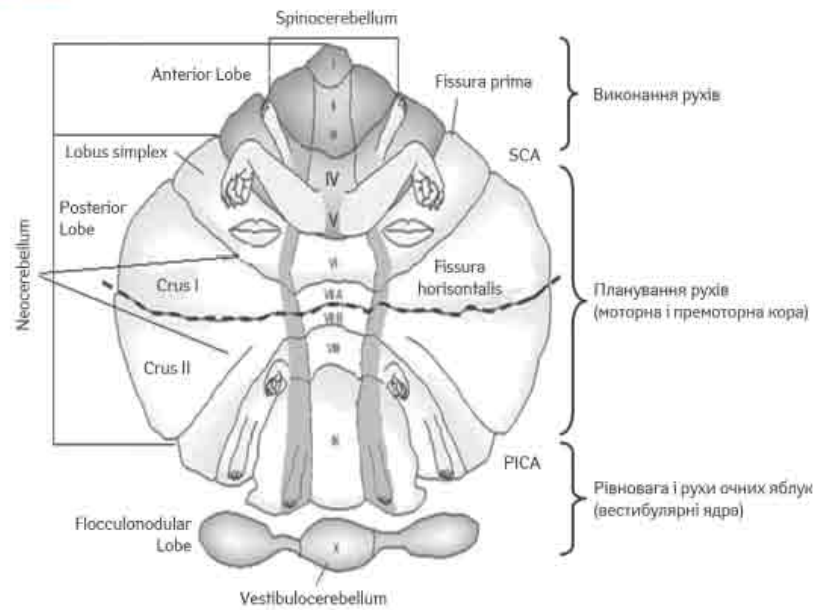


Схема функціонального соматотопічного представництва частин тіла в мозочку (за: Kozczak J. et al., 2010), модифікована: SCA — superior cerebellar artery; PICA — posterior inferior cerebellar artery

Як видно з наведеної схеми, сенсомоторна функція, виконання рухів представлено переважно в передній частці (часточки I–V) з додатковим представництвом у часточці VIII задньої частки. Локомоторна функція верхніх кінцівок і мовно-руховий контроль асоціюються з паравермальними і латеральними кірковими ділянками IV, V часточок; нижніх — ділянками III часточок передньої частки. Ця територія кровопостачається верхньою артерією мозочка. В інших часточках (VI, VII, IX, X) задньої частки мінімально представлені кінетична функція рук і ніг. Часточки VI, VII забезпечують реалізацію високорівневих когнітивних функцій, регуляцію проявів емоцій. Рівновага тіла, хода, окомірні функції пов'язані з каудальним відділом мозочка та кляптико-вузликівською часткою, кровопостачання яких забезпечує задня нижня артерія мозочка.

Наведену соматотопічну організацію функцій мозочка пояснюють наявними анатомічними зв'язками його з іншими відділами головного мозку. Зокрема, передня частка мозочка (часточки I–V) та частина часточки VI отримують аферентну інформацію про положення частин тіла і активність м'язів через спинномозково-мозочковий шлях (пучок Говарса і Флексіга) (Oscarsson O., 1965) та реципрокно пов'язані з моторною корою півкуль головного мозку через кірково-мостомозочкові шляхи і отримують імпульси про запланований рух (Schmahmann J.D., 2004). Ділянки мозочкових часточок VI і VII задньої частки, відповідальні за когнітивні функції, не зв'язані зі спинним мозком або моторною корою (Voogd J., 2004). Водночас вони мають зв'язки з префронтальною, задньою тім'яною асоціативною корою, корою верхньої скроневої та потиличної часток, поясною і паракліпикальною (приморсько-коринковою) звивинами. Інші часточки (VIII

і VIII) задньої частки мозочка також мають зв'язки з асоціативними ділянками кори префронтальної, задньої тім'яної, верхньої скроневої і потиличної часток півкуль великого мозку і отримують імпульси про запланований рух та здійснюють контроль за його виконанням (Schmahmann J.D., 1991; Kelly R.M., Strick P.L., 2003).

Вважають, що існує суворе відокремлення, ізолюваність шляхів, які йдуть від мозочка до моторної кори і кори префронтальної ділянок півкуль великого мозку (Middleton F.A., Strick P.L., 2001). Саме це є важливою передумовою селективного впливу мозочка на рухові та вищі психічні функції, що в свою чергу визначає можливість ізолюваного виникнення моторно-координаторних і когнітивних розладів при ураженні відповідних часточок передньої чи задньої частки мозочка (Schmahmann J.D. et al., 2009).

Припускають, що механізм впливу мозочка на вищі психічні функції подібний до впливу на рухові функції. Подібно до того, як мозочок регулює швидкість, силу, точність швидкопрямованих рухів, аналогічним чином він здійснює регуляцію послідовності вищих психічних функцій. Виходячи з цього, аналогом такого прояву мозочкової атаксії, як дисметрія, може бути «дисметрія» процесів мислення (Schmahmann J.D., 2004).

Отже, функція мозочка значно ширша, ніж сенсомоторна регуляція рухів, він впливає також на психічні, когнітивні процеси: формування уваги, абстрактного і образного мислення, робочої пам'яті тощо. Врештовуючи тісний взаємозв'язок мозочка з ділянками моторної та префронтальної кори півкуль великого мозку, велика увага в останні роки приділяється ролі мозочка в відновленні рухових і когнітивних функцій у хворих із супратенторіальним півкульним інсультом (інфаркт, гематома).

Висновки

Проведений аналіз експериментальних і клінічних досліджень попередніх десятиріч переконливо підтверджує наявність соматотопічної організації функцій різних частин тіла в корі мозочка людини, очевидність існування топореферентних утворів, відповідальних за сенсомоторну координацію ходи, кінцівок, артикуляцію (передня частка), а також за стан когнітивних функцій, включаючи увагу, робочу пам'ять, відтворення лексики (ділянки VI і VII часточок задньої частки нового мозочка).

Мозочок, безумовно, не можна оцінювати як функціонально ідентичний орган, оскільки він не тільки є ключовою надсегментарною структурою центральної нервової системи в координації рухів, регуляції ходи і м'язового тонусу, але й має важливе значення у плануванні та виконанні довільних рухових актів, які відбуваються за безпосередніми зв'язками з корою півкуль великого мозку та під її контролем; мозочок здійснює також регуляцію похідних процесів, когнітивного статусу, вегетативних функцій.

Знання особливостей соматотопічної організації функцій мозочка — представництва різних периферичних рецепторів, тобто різних частин тіла (голова, тулуб, кінцівки) на певних ділянках черв'яка і півкуль мозочка має важливе значення для лікаря-невролога у визначенні території можливого часточкового ураження, а також ідентифікації проявів мозочкових порушень — атаксичного чи когнітивного синдрому, складових загальної неврологічної дефіциту, що визначає ступінь інвалідизації пацієнта в гострий період мозочкового інсульту.

Список використаної літератури

- Бекстерев В.М. (1905) Основы учения о функциях мозга. Типография П.П. Соколина, Санкт-Петербург, т. IV, 329 с.
- Вінчук С.М. (ред.) (2008) Неврологія (підручник). Здоров'я, Київ, 659 с.
- Ганюк В.Ф. (2002) Фізіологія людини. БєК, Львів, 787 с.
- Ірґер М.М., Корейша Л.А., Толмасова З.С. (1959) Электрическая активность мозочка человека в норме и патологии. Медиц. Москв., 243 с.
- Кроль М.В., Федорова Е.А. (1966) Основные невропатологические синдромы. Медицина, Москва, 511 с.
- Мунденталер М., Бессетти К., Дяткайлер К. (2012) Дифференциальный диагноз в неврологии. МЕДпресс-информ, Москва, с. 141–143.
- Орбели Л.А., Зиннат А.М. (1932) Эффекты раздражения мозочка. Физиол. журн. СССР, 15(8): 557–561.
- Педченко Г.А., Пастушин И.П. (1975) Кровоснабжение мозочка. Здоров'я, Київ, 96 с.
- Ackerkott H., Vogel M., Petersen D., Poremba M. (1992) Speech deficits in ischemic cerebellar lesions. J. Neurol., 239(4): 223–227.
- Albus J.S. (1971) A theory of cerebellar function. Math. Biosci., 10: 25–61.
- Baler B., Staater P., Dieterich M. (2009) Anatomical correlates of ocular motor deficits in cerebellar lesions. Brain, 132(Pt. 8): 2114–2124.
- Boik L. (1902) Hauptzüge der vergleichenden Anatomie des Cerebellum der Säugetiere, mit beson-

derer Berücksichtigung des menschlichen Kleinhirnes. Mschr. Psychiat. Neurol., 12: 432–449.

Bolk L. (1906) Das Cerebellum der Säugetiere. Jena: De Erven F. Bohn, and Gustav Fischer.

Dietrichs E. (2008) Clinical manifestation of focal cerebellar disease as related to the organization of neural pathways. Acta Neurol. Scand. Suppl., 188: 6–11.

Elkind M.S., Mohr J.P. (1997) Cerebellar hemorrhage. New Horiz., 5(4): 352–358.

Ferrier D., Turner W.A. (1893) A record of experiments illustrative of the symptomatology and degenerations following lesions of the cerebellum and its peduncles and structures in monkeys. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 185: 719–778 (<http://archive.org/details/philtrans01281688>; <http://ia700502.us.archive.org/27/items/philtrans01281688/01281688.pdf>).

Fox P.T., Raichle M.E., Thach W.T. (1985) Functional mapping of the human cerebellum with positron emission tomography. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 82(21): 7462–7466.

Gilbert P.F. (1974) A theory of memory that explains the function and structure of the cerebellum. Brain Res., 70(1): 1–18.

Grodd W., Hülsmann E., Ackermann H. (2005) Functional MRI localizing in the cerebellum. Neurosurg. Clin. N. Am., 16(1): 77–99.

Habas C., Axelrad H., Nguyen T.H., Cabanis E.A. (2004) Specific neocerebellar activation during out-of-phase bimanual movements. Neuroreport, 15(4): 595–599.

Hampson J.L., Harrison C.R., Woolsey C.N. (1946) Somatotopic localization in the cerebellum. Fed. Proc., 5(1 Pt 2): 41.

Holmes G. (1917) The symptoms of acute cerebellar injuries due to gunshot injuries. Brain, 40: 463–535.

Holmes G. (1930) The cerebellum of man. Brain, 62: 1–30.

Kelly R.M., Strick P.L. (2003) Cerebellar loops with motor cortex and prefrontal cortex of a nonhuman primate. J. Neurosci., 23(23): 8432–8444.

Konczak J., Pierscianek D., Hirsiger S. et al. (2010) Recovery of upper limb function after cerebellar stroke: lesion symptom mapping and arm kinematics. Stroke, 41(10): 2191–2200 (<http://stroke.ahajournals.org/content/41/10/2191.long>).

Larsell O. (1947) The development of the cerebellum in man in relation to its comparative anatomy. J. Comp. Neurol., 87(2): 85–129.

Lechtenberg R., Gilman S. (1978) Speech disorders in cerebellar disease. Ann. Neurol., 3(4): 285–290.

Lee H., Sohn S.I., Cho Y.W. et al. (2006) Cerebellar infarction presenting isolated vertigo: frequency and vascular topographical patterns. Neurology, 67(7): 1178–1183.

Leigh R.J., Zee D.S. (2006) The Neurology of Eye Movements (IV ed.). Oxford University Press, New York, 762 p.

Leiner H.C., Leiner A.L., Dow R.S. (1986) Does the cerebellum contribute to mental skills? Behav. Neurosci., 100(4): 443–454.

Luciani L. (1891) Il cervelletto; nuovi studi di fisiologia normale e patologica. Firenze: Le Monnier. Translated in: Turner W.A. (1892) Reviews and notices of books. Brain, 15: 283–299.

Marien P., Engelborghs S., De Deyn P.P. (2001) Cerebellar neurocognition: a new avenue. Acta Neurol. Belg., 101(2): 96–109.

Middleton F.A., Strick P.L. (2001) Cerebellar projections to the prefrontal cortex of the primate. J. Neurosci., 21(2): 700–712.

Nitschke M.F., Kleinschmidt A., Wessel K., Frahm J. (1996) Somatotopic motor representation in the human anterior cerebellum. A high-resolution functional MRI study. Brain, 119 (Pt 3): 1023–1029.

Oscarsson O. (1965) Functional organization of the spino- and cuneocerebellar tracts. Physiol. Rev., 45: 495–522.

Schlerf J.E., Verstynen T.D., Ivry R.B., Spencer R.M. (2010) Evidence of a novel somatotopic map in the human neocerebellum during complex actions. J. Neurophysiol., 103(6): 3330–3360.

Schmahmann J.D. (1991) An emerging concept. The cerebellar contribution to higher function. Arch. Neurol., 48(11): 1178–1187.

Schmahmann J.D. (2004) Disorders of the cerebellum: ataxia, dysmetria of thought, and the cerebellar cognitive affective syndrome. J. Neuropsychiatry Clin. Neurosci., 16(3): 367–378.

Schmahmann J.D., Caplan D. (2006) Cognition, emotion and the cerebellum. Brain, 129(Pt. 2): 290–292.

Schmahmann J.D., Doyon J., Taga A. et al. (2000) MRI Atlas of the Human Cerebellum. Academic Press, San Diego, CA, 167 p.

Schmahmann J.D., Macmore J., Vangel M. (2009) Cerebellar stroke without motor deficit: clinical evidence for motor and non-motor domains within the human cerebellum. Neuroscience, 162(3): 852–861.

Schmahmann J.D., Pandya D.N. (1997) The cerebrocerebellar system. Int. Rev. Neurobiol., 41: 31–60.

Schmahmann J.D., Sherman J.C. (1998) The cerebellar cognitive affective syndrome. Brain, 121 (Pt. 4): 561–579.

Schoch B., Dimitrova A., Gizewski E.R., Timmann D. (2006) Functional localization in the human cerebellum based on voxelwise statistical analysis: a study of 90 patients. Neuroimage, 30(1): 36–51.

Snider R.S. (1950) Recent contributions to the anatomy and physiology of the cerebellum. Arch. Neurol. Psychiatry., 64(2): 196–219.

Snider R.S., Eldred E. (1952) Cerebrocerebellar relationships in the monkey. J. Neurophysiol., 15(1): 27–40.

Stoodley C.J., Schmahmann J.D. (2009) Functional topography in the human cerebellum: a meta-analysis of neuroimaging studies. Neuroimage, 44(2): 489–501.

Storey E., Tuck K., Hester R. et al. (2004) Inter-rater reliability of the International Cooperative Ataxia Rating Scale (ICARS). Mov. Disord., 19(2): 190–192.

Strick P.L., Dum R.P., Fiez J.A. (2009) Cerebellum and nonmotor function. Annu. Rev. Neurosci., 32: 413–434.

Thömke F., Marx J.J., Iannetti G.D. et al. (2005) A topodiagnostic investigation on body lateropulsion in medullary infarcts. Neurology, 64(4): 716–718.

Timmann D., Drepper J., Maschke M. et al. (2002) Motor deficits cannot explain impaired cognitive associative learning in cerebellar patients. Neuropsychologia, 40(7): 788–800.

Trouillas P., Takayanagi T., Hallett M. et al. (1997) International Cooperative Ataxia Rating Scale for pharmacological assessment of the cerebellar syndrome. The Ataxia Neuropharmacology Committee of the World Federation of Neurology. J. Neurol. Sci., 145(2): 205–211.

Urban P.P., Marx J., Hunsche S. et al. (2003) Cerebellar speech representation: lesion topography in dysarthria as derived from cerebellar ischemia and functional magnetic resonance imaging. Arch. Neurol., 60(7): 965–972.

Voogd J. (2004) Cerebellum and precerebellar nuclei. In: G. Paxinos, J.K. Mai (Eds.) The Human Nervous System. Elsevier Academic Press, Amsterdam, p. 321–392.

Ye B.S., Kim Y.D., Nam H.S. et al. (2010) Clinical manifestations of cerebellar infarction according to specific lobular involvement. Cerebellum, 9(4): 571–579.

Соматотопическая организация функций мозжечка

С.М. Виничук, А.С. Трепет

Резюме. В обзоре отображена эволюция взглядов относительно соматотопической организации функций мозжечка. Результаты электрофизиологических, клинических исследований последних лет с использованием функциональной магнитно-резонансной томографии убедительно подтвердили наличие соматотопического распределения функций в коре мозжечка человека, вероятность существования структур, ответственных за сенсомоторную координацию, а также реализацию когнитивных и психических функций.

Ключевые слова: мозжечок, соматотопическая организация функций, двигательный дефицит, немоторные функции.

Somatotopic organization of cerebellar functions

S.M. Vynychuk, G.S. Trepset

Summary. The evolution of different points of view as to somatotopic organization of cerebellar functions is shown in the review. Results of electrophysiological and clinical studies of recent years, including functional magnetic resonance imaging, confirmed the somatotopic localization of functions in human cerebellar cortex, structures which are corresponded with sensorimotor coordination and the realization of cognitive and emotional functions.

Key words: cerebellum, somatotopic organization of functions, motor deficit, nonmotor functions.

Адреса для листування:

Трепет Ганна Сергіївна
01023, Київ, вул. Шовковична, 39/1
Олександрівська клінічна лікарня,
відділення цереброваскулярної патології
Одержано 21.02.2013