

## Гетерогенність функцій префронтальної кори: нейроанатомічний підхід

У статті здійснюється спроба концептуалізації та узагальнення функцій префронтальної кори головного мозку з метою оптимізації процедур нейропсихологічного обстеження. Пропонується модель, що спирається на дані анатомічної будови вказаних ділянок і включає три умовні виміри: 1) дорзолатеральна vs орбітофронтальна кора; 2) права vs ліва півкуля; 3) кора vs підкіркові структури та провідні шляхи лобних ділянок.

**Ключові слова:** нейропсихологічна діагностика, функції префронтальної кори.

В статье осуществляется попытка концептуализации и обобщения функций префронтальной коры головного мозга с целью оптимизации процедур нейропсихологического обследования. Предлагается модель, опирающаяся на данные анатомического строения указанных отделов, которая включает три условных измерений: 1) дорзолатеральная vs орбитофронтальная кора; 2) правое vs левое полушарие; 3) кора vs подкорковые структуры и проводящие пути лобных долей.

**Ключевые слова:** нейропсихологическая диагностика, функции префронтальной коры.

*Актуальність проблематики.* Префронтальні ділянки кори головного мозку – це те саме “місце зустрічі” провідних моторних та сенсорних систем, змінити яке неможливо (навіть у разі пошкодження будь-якої етіології). Саме тут перетинаються найважливіші нервові шляхи. Префронтальній корі надають статус “місця знаходження свідомості” [10], називають “органом цивілізованості” [8], “диригентом оркестру” [1]. “Префронтальна кора людського мозку сприймає інтегрує, формулює, виконує, відстежує, модифікує і оцінює усі види активності нервових систем” [11].

Сучасне розуміння важливості функцій префронтальної кори спирається на довгий шлях, що здолала думка науковців: від хрестоматійного випадку травми Ф. Гейджа, через жахливі лікарські помилки і зловживання, пов’язані з лоботомією, до усвідомлення унікальності цієї частини мозку, що власне робить нас людьми, надаючи здатності усвідомлювати себе, любити, проявляти творчість, розсудливість, вибірковість, стриманість, милосердя. Дивний інструмент, на якому грає неподільна і вічна людська душа.

Визнання можливостей префронтальної кори пов'язане, з одного боку, із накопиченням емпіричного матеріалу, отриманого у результаті вивчення чисельних клінічних випадків, зокрема із застосуванням методів нейровізуалізації, що з'явилися наприкінці ХХ ст. (фМРТ, ПЕТ і т. ін). З другого – розвиток інформаційних технологій та спроби моделювання штучного інтелекту прискорили розуміння складних ієрархічних зв'язків у людському мозку, надали можливість виокремити унікальні людські функції з масиву таких, що можуть бути автоматизовані [3].

*Методологічні обмеження функційної локалізації при вивченні лобних ділянок.* Нейропсихологічна діагностика наслідків ураження префронтальної кори потребує усвідомлення можливих труднощів, серед яких провідне місце посідає виражена суперечливість симптоматичних проявів, на підставі якої у науковій літературі все частіше йдеться про наявність щонайменше двох лобних синдромів, різних (іноді діаметрально протилежних) за клінічною картиною. Так Х. Блуменфельд наступним чином співставляє суперечливі поведінкові прояви, що спостерігаються при ураженні лобних ділянок: апатична байдужість/експлозивна емоційна лабільність; абулія/ польова поведінка; акінезія/ схильність до відволікань; персеверативність/ нестабільність; мутизм/ конфабуляції; депресія/ манія; гіпосексуальність/ гіперсексуальність [4, с. 847].

Можна виділити низку інших методологічних парадоксів, серед яких: умовний анатомічний зв'язок порушення функцій управління і контролю над поведінкою з лобною корою як такою (без урахування підкіркових структур, провідних шляхів тощо); інтактність більшості когнітивних функцій при ураженні префронтальної кори; недостатня інформативність застосування кількісних показників для виявлення якісних змін; необхідність структурування лабораторної ситуації тестування при можливості повного виявлення симптомів тільки у складному контексті [2].

Отже, навіть поверхневе ознайомлення із функційною організацією префронтальної кори залишає враження крайньої складності, очевидним стає поєднання різноманітних елементів, здібностей, властивостей, для позначення якого у спеціальній літературі вживається термін “гетерогенність функцій лобних ділянок” [6].

Завдання нейропсихологічної діагностики вимагає не тільки детального опису можливих лобних дисфункцій та операціоналізації їх критеріїв, але, у першу чергу, побудови теоретичної моделі, яка б редукувала розмаїття проявів до кількох факторів, доступних спостереженню, вимірюванню та передбаченню.

Подібні спроби здійснювались неодноразово. Так Х. Блуменфельд [4, с. 847] групує функції префронтальної кори, виходячи з трьох нейропсихологічних факторів: 1) стримання (інгібіція, пригнічення) – включає функцію передбачення, формулювання суджень, повторюваність, здатність відкласти винагороду, пригнічення соціально-неадекватної поведінки, самоконтроль, концентрацію уваги; 2) ініціатива – включає такі якості, як цікавість, спонтанність, мотивацію, креативність, переключення уваги, психічну гнучкість, індивідуальність; 3) упорядкування – включає абстрактне мислення, оперативну пам'ять, планування, рефлексивність, організованість, створення послідовностей у діях і у часі.

Дослідники Б. Колб та І. Вішоу виділяють дещо інші кластери функцій, відштовхуючись від джерела інформації, що спрямовує поведінку. “Префронтальна кора контролює когнітивні процеси таким чином, щоб належні рухи були відібрані своєчасно та у належному місці. Такий відбір може визначатись інтерналізованою інформацією, чи зовнішніми чинниками, або ж може здійснюватись у відповідь на контекст чи знання себе”. Таким чином, цими авторами описуються префронтальні функції, що спираються, по-перше, на внутрішню інформацію – інтерналізовану репрезентацію безпосереднього досвіду, незалежну від потоку сенсорних стимулів, і забезпечуються оперативною пам'яттю. По-друге, йдеться про зовнішню інформацію – при втраті внутрішнього ментального курсу, люди опиняються у “полі” привабливих об'єктів і стають залежними від них у визначенні подальшої поведінки. Цей процес спирається на здатність утворювати асоціативні зв'язки між безумовними та умовними подразниками. Третє джерело інформації – контекст, у першу чергу соціальний, що значною мірою впливає на вибір адекватної моделі поведінки. І нарешті, четверта складова, що контролює поведінкові стратегії – знання про себе, самосвідомість, ідентичність [6, с. 397].

В основу нашої моделі ми вирішили покласти дані анатомічної будови префронтальних ділянок лобної кори та структур, що з нею пов'язані. Подібний принцип неодноразово використовувався у нейропсихологічних дослідженнях. Згадаємо, наприклад, принцип “когнітивного градієнту” Е. Голдберга, згідно якого “суміжні ділянки неокортексу виконують схожі когнітивні функції... Поступовий перехід від однієї когнітивної функції до іншої відповідає поступовій безперервній траєкторії на поверхні кори” [1, с. 92]. Цей підхід не тільки дозволив автору спростити власне розуміння і запам'ятовування симптоматики чисельних нейропси-

хологічних синдромів, але й у багатьох випадках передбачувати ефекти від конкретних уражень мозку до їх емпіричного спостереження. Мозковий субстрат, представлений чисельними взаємопов'язаними, ієрархічно організованими структурами, з'єднаними висхідними та низхідними провідними шляхами, є відправним пунктом у побудові і нашої теоретичної моделі.

*Мета дослідження*, таким чином, полягає в концептуалізації та узагальненні функцій префронтальної кори головного мозку виходячи з даних її нейроанатомічної будови для оптимізації нейропсихологічної діагностики відповідних порушень.

Термін “префронтальна кора” був введений Дж. Роузом та К. Вулси для позначення тієї частини лобних ділянок ссавців, де закінчуються проекційні шляхи дорзомедіального ядра таламуса. Ці дослідники розглядали дані шляхи як паралельні тому що поєднують латеральне та медіальне колінчасте тіло з візуальною та слуховою корою [6]. В анатомічній будові префронтальної кори приматів виділяють три ділянки: 1) дорзолатеральна префронтальна кора – зони 9 та 46 за Бродманном; 2) орбітофронтальна (нижня, вентральна) префронтальна кора – зони 11, 12, 13, 14 за Бродманном; 3) медіальна префронтальна кора – зони 5 та 32 за Бродманном. Остання іноді розглядається як частина передньої цингулярної ділянки, хоча й отримує стимуляцію дорзомедіального ядра таламуса. У префронтальній корі інформація, що надходить з різних джерел: зовнішніх та внутрішніх, свідомих та несвідомих, інтегрується та трансформується в активну діяльність.

Детальне вивчення функційної організації префронтальної кори дозволяє виділити три умовні виміри. Перший представлений інтрапівкульною дихотомією дорзолатеральної та орбітофронтальної кори. Другий вимір спирається на дані міжпівкульної асиметрії. І нарешті третій вимір аналізує взаємодію кіркових і підкіркових структур у забезпеченні функцій програмування та контролю поведінки. Розглянемо змістове наповнення кожного з окреслених вимірів.

### **Дорзолатеральна vs орбітофронтальна кора.**

Дорзолатеральна префронтальна кора (ДЛК) щільно взаємодіє з задньотім'яними відділами та верхньою скроневою звивиною, з якими поєднана двосторонніми зв'язками. Крім того, ДЛК має проекції до таких відділів, як цингулярна кора та базальні ганглії, з якими також сполучається задньотім'яна кора [6, с. 394].

З ДЛК найчастіше пов'язують складні функції пам'яті. Йдеться не тільки про здатність до кодування, збереження та відтворення інформації (ці процеси забезпечуються задніми

відділами кори великих півкуль і віднесені О.Р. Лурією до другого функційного блоку мозку), а про функції, що більше пов'язані не стільки з пам'яттю як такою (тільки на рівні термінології), але із свідомістю та увагою (третій функційний блок). До таких функцій ДЛК належить оперативна пам'ять – здатність підтримувати “on-line” зв'язок з релевантною інформацією протягом такого часу, який потрібний для здійснення поведінкового акту (до наступної “операції”). Оперативна пам'ять забезпечує своєчасний доступ у неосяжні сховища знань, допомагає відібрати з них потрібне та адекватно його використати. Проявом цієї функції також є здатність утримувати в пам'яті те, що у даний момент відсутнє у сприйнятті: об'єкти зникають “з очей”, але не “з серця”. Ж. Паже дав цій здатності назву “постійність когнітивного об'єкта”. Так, наприклад, інтегроване уявлення про матір залишається у пам'яті дитини і може бути довільно викликане за її бажанням, якщо постійність когнітивного об'єкта сформувалась. У зворотному випадку розлучення з матір'ю виступає впливовим чинником психологічної травми. Відсутність матері в уяві дитини прирівнюється до її незворотного зникнення. Таким чином функції ДЛК сприяють стресостійкості та фрустраційній толерантності особи.

Цікаві прояви оперативної пам'яті утворюють підґрунтя для спонтанності, оригінальності, поведінкової гнучкості. Ці риси неможливі без пам'яті про те, що певна дія (жарт, думка, висловлювання) вже мали місце (і, можливо, неодноразово). Зворотній зв'язок щодо власних дій та їх реєстрація, таким чином, забезпечуються ДЛК.

В контексті функцій ДЛК неодноразово фігурувала здатність до планування, яку можна також розглянути як різновид “пам'яті” – утримання у свідомості задуму, плану є своєрідною “пам'яттю про майбутнє”. Із плануванням щільно взаємодіє і здатність враховувати попередній досвід, використовувати життєві уроки, щоб не повторювати одних і тих самих сумних помилок.

І нарешті, серед різновидів пам'яті, що забезпечуються ДЛК, слід згадати “метапам'ять” – знання про те, що відомо, тобто здатність здійснювати “навігацію” по власних інформаційних сховищах.

Описані функції порушуються при пошкодженні ДЛК, коли можна спостерігати “лобний синдром” загальмованого типу. Його характерними проявами виступає ригідність та туподумство, апатія та абулія, а також нездатність критично оцінювати власні дії та вчитися на помилках. Цікавим чином, довготривала пам'ять при цьому синдромі, як правило, збережена. Формально людина може

відтворювати минулі події і факти, однак не знаходить для них адекватного застосування, плануючи власну поведінку. Людина не здатна знайти новий шлях, змінити існуючі поведінкові стратегії, навіть якщо вони давно втратили актуальність чи навіть підкріплюються негативно. Наочним є також зниження дивергентного мислення, пов'язане з втратою спонтанності, персевераціями, труднощами у вирішенні завдань з елементами новизни [6].

В свою чергу орбітофронтальна кора (ОФК) отримує аферентацію з скроневої ділянки, включаючи її зорові та слухові відділи, та з мигдалини. Крім того, існують канали, що доставляють до ОФК сомато-сенсорну, нюхову та смакову інформацію. Проекції ОФК спостерігаються у мигдалині та гіпоталамусі, що дозволяє їй впливати на функції автономної нервової системи, модулюючи особливості емоційних реакцій.

На відміну від дорзолатеральної, ОФК не стільки планує дії, а скоріше спостерігає за їх виконанням у реальному часі. Її завданням є загальмувати спокусливі, але неадекватні види поведінки, ті, що не сприяють досягненню мети, а перешкоджають їй. На найнижчому щаблі знаходяться рефлекторні види поведінки (орієнтовний рефлекс, бажання доторкнутись, понюхати, моргнути, уникнути неприємних стимулів), а вище розташовані більш складні поведінкові комплекси.

Наприклад, вміння удавати певні емоції, висловлювати думки, що не відповідають ані дійсності, ані власному переконанню, заради певної мети (простіше сказати – вміння брехати та маніпулювати), базується на певній зрілості ОФК. “Правду казати легко і приємно”, як вважає відомий герой роману “Майстер і Маргарита”. В контексті нашого дослідження можна додати, що правду казати простіше й природніше. Брехня є недоступною дітям й тваринам. Метафорично можна вести мову про певний “рефлекс щирості й правди”, долати який мозок навчився у процесі еволюції. Не даючи етичної оцінки описаному феномену, дозволимо собі відзначити, що без цього подолання неможливими були б звичні культурні явища: від акторської гри до вибору адекватних комунікативних ролей в залежності від ситуації.

Сучасна людина має не тільки довільно долати “рефлекс правди” у собі, але відключати внутрішній “детектор брехні”, яким, згідно чисельних досліджень [5], виступає ОФК. Тоді можливими стають насолода мистецтвом, прийняття бажаного за дійсне, хибні спогади та інші види самоомани, у тому числі захисні механізми, описані в психоаналітичній теорії особистості. Але цей детектор “по умовчанню” працює, саме ОФК робить нас пильними, недовір-

ливими, орієнтованими на пошук прихованих загроз в оточуючому середовищі. Окремим проявом цієї здатності виступає розуміння гумору, що також забезпечується ОФК.

ОФК опосередковує свободу волі, можливість вибору пріоритетів. Умовно можна сказати, що ОФК спрямована у майбутнє, у той час, коли ДЛК аналізує попередній досвід. Заради майбутнього необхідно вміти відмовитись від маленьких принад і задоволень “зараз”, заради отримання великих “потім”. Оскільки префронтальна кора пізніше досягає зрілості в онтогенезі, діти завжди тією чи іншою мірою проявляють імпульсивність, надаючи перевагу “синицям у руці”. Розвинута ОФК пов’язана, таким чином, із сталою ідентичністю, відчуттям безперервності у часі, оскільки думати про майбутнє може тільки самототожній суб’єкт, той, хто впевнений, що отримувати віддалену винагороду чи розплачуватись за помилки буде саме він, а не хтось інший. Рефлексія цілей також забезпечує фундамент самосвідомості.

Пошкодження ОФК клінічно проявляється діаметрально протилежним чином, порівняно з описаним вище ДЛК-синдромом. Такі пацієнти демонструють розгальмованість, імпульсивність, ризиковану поведінку. При виконанні психодіагностичних завдань вони схильні ігнорувати правила, що у більш широкому життєвому контексті неодмінно призводить до ігнорування важливих норм поведінки. Проявляються неприпустимі види агресивності та сексуальності, соціопатичні риси особистості.

Отже, можна узагальнити описані вище функції, пов’язані з дорзолатеральною та орбітофронтальною корою (див. табл. 1).

*Таблиця 1*

**Співставлення функцій ДЛК та ОФК  
у межах інтрапівкульного вектора**

Дорзолатеральна префронтальна кора	Орбітофронтальна кора
Динамічна складова у регуляції поведінки	Гальмівна складова у регуляції поведінки
Орієнтація у минуле	Орієнтація у майбутнє
Константність когнітивного об’єкта	Константність суб’єкта (ідентичність, самототожність)
Зворотній зв’язок щодо власних дій, їх частоти у минулому	Моніторинг власних дій у процесі виконання
Планування	Саморегуляція
Вибір та зміна стратегії	Обачливість, розважливність, рефлексивність
Оперативна пам’ять	
Спонтанність, непередбачуваність	

*Функційна асиметрія префронтальної кори: права vs ліва півкуля. У галузі дослідження латералізації когнітивної активності*

накопичено величезну кількість емпіричних фактів. Однак спроби сформулювати загальний принцип функційного розподілу мозку на дві півкулі тривають. Класичним стало положення про домінування лівої півкулі у вербальних завданнях, правої – у просторових невербальних. Неодноразово йшлося про сукцесивність/симультанність, час/простір, логічне/образне мислення. Цікаву думку висловив Голдберг, запропонувавши концепцію новизни/рутини, згідно якої права півкуля забезпечує прийняття рішення в принципово нових умовах, що характеризуються нестачею інформації, а ліва зберігає накопичений досвід, здебільше у мовному вигляді [1]. Крім того, майже не дискутується положення про те, що асиметрія є більш вираженою у задніх відділах мозку, та певною мірою стає непередбачуваною чи компенсується на рівні префронтальної кори. Слід також відзначити, що білатеральне її ураження може породжувати якісно нову симптоматику, що не зводиться до простого кількісного збільшення симптомів на рівні окремих півкуль. У якості прикладу можна навести втрату орієнтації у часі, що найчастіше виникає саме при двосторонньому ураженні лобної кори [6, с. 399].

Загалом, закономірності встановлені щодо латеральності в інших відділах мозку спостерігаються і на території, про яку ми пишемо. Спробуємо проаналізувати основні дані, отримані у дослідженнях функційної асиметрії префронтальної кори.

З лівою лобною ділянкою пов'язують знижену вербальну бігкість, бідність спонтанного мовлення, порушення організації мови, сплутаність у послідовності висловів, спрощений синтаксис, незавершеність висловів, їх однослівність, номінативні помилки та персеверації і, в екстремальних випадках – мутизм. Картину доповнюють порушення у визначенні часової послідовності подій. Окреслені проблеми пов'язані не стільки з мовними чи когнітивними функціями, як такими, а з порушеними ексекутивними (управлінськими) процесами.

Ураження правої півкулі проявляється зниженням конструктивного праксису, труднощами у просторовому аналізі, включаючи ментальну ротацію та орієнтацію у просторі, порушенням експресивної мови у вигляді спрощеної просодії, стереотипізації висловлювань. При цьому найбільше страждає не стільки перцептивний, скільки моторний фактор. Хоча й процес сприйняття, зокрема візуального, як на рівні цілого, так і елементів, не є бездоганим [7, с. 93].

Але найбільш характерним проявом правобічної локалізації ураження виступають симптоми анозогнозії у вигляді тих чи інших



помилку в оцінці об'єктивного стану свого здоров'я, заперечення наявних симптомів. Саме ця риса суттєво перешкоджає процесу реабілітації хворих.

*Кора vs підкіркові структури та провідні шляхи лобних ділянок.* Третій вимір в аналізі анатомічної будови та відповідних функцій префронтальних відділів мозку представлений взаємодією кіркових та підкіркових відділів. Чисельні висхідні та низхідні шляхи утворюють зв'язки між лобними ділянками та підкірковими структурами, у першу чергу базальними гангліями, а також стовбуровими утвореннями, серед яких, наприклад вентральна галузь покрішки середнього мозку (VTA). Це – своєрідна енергетична батарея, дротом виступають висхідний допамінергічний мезокортикальний шлях, а кінцевим продуктом на рівні мозкової діяльності – процес прийняття рішень, як тривіальних, так і життєво важливих.

Префронтальна кора також поєднана системою зв'язків з задніми відділами кори великих півкуль (другим “інформаційним” функційним блоком за О.Р.Лурією). В першу чергу слід згадати теорію “двох струмів” візуального сприйняття: вентральний, пов'язаний з розпізнаванням об'єктів, що йде від первинних зон зорової кори через нижній аспект скроневої ділянки, та дорзальний, пов'язаний з просторовою поведінкою (від візуальної кори через тім'яну ділянку).

У нейропсихологічній літературі різноманітні прояви порушень на рівні провідних шляхів описані як “синдроми роз'єднання” (термін, введений Норманом Гешвіндом [1, с. 219]). Таке порушення може бути результатом черепно-мозкової травми, наслідком нейродегенеративного процесу, як при шизофренії, чи бути пов'язаним з недорозвиненням відповідних шляхів в онтогенезі, як при синдромі Туретту чи синдромі дефіциту уваги з гіперактивністю (СДУГ) у дітей. Різноманітні прояви синдромів роз'єднання схожі тим, що поверхнева інтактність лобних ділянок поєднується з вираженою лобною симптоматикою, пояснити яку можна тільки порушенням тонких вразливих провідних шляхів.

**Висновок:** у дослідженні проаналізовано особливості анатомічної будови префронтальних ділянок кори головного мозку людини. Було висунуто гіпотезу про доцільність виділення трьох умовних вимірів, які спрощували б нейропсихологічну діагностику функцій префронтальної кори. Йдеться про співставлення роботи орбітофронтальної та дорзолатеральної кори, про особливості латералізації функцій та взаємодію кіркових структур з підкірковими утвореннями та провідними шляхами.

### **Список використаних джерел**

1. Голдберг Э. Управляющий мозг: Лобные доли, лидерство и цивилизация. – М.: Смысл, 2003. – 335 с.
2. Малишева К.О. Методологічні парадокси в клінічній діагностиці екзекутивних функцій/К.О.Малишева// Проблеми емпіричних досліджень у психології. – Випуск 1. – К.: Гнозис, 2008. – 380 с.
3. Хокинс Дж., Блейкли С. Об интеллекте.
4. Blumenfeld H. Neuroanatomy through clinical cases. – Yale University School of Medicine, 2002. – 951 p.
5. Carter R. Mapping the Mind. – Univ. of California Press, 1999. – 224 p.
6. Kolb B., Whishaw I.Q. An Introduction to Brain and Behavior. – Worth Publishers, 2001. – 601 p.
7. Lezak M.D. Neuropsychological Assessment. – Oxford Univ. Press, 1995. – 1026 p.
8. Miller G.A., Galanter E., Pribram K.H. (1960). Plans and the structure of behavior. New York: Holt.
9. Miller, E.K. & Cohen, J.D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu Rev Neurosci.* 2001; 24:167-202
10. Perecman E. (1987). Consciousness and the metafunctions of the frontal lobes: Setting the stage// E. Perecman (Ed.), *The frontal lobes revisited.* New York: IRBN.
11. Stuss D.T., Benson D.F. (1987) *The frontal lobes and control of cognition and memory*// Perecman (Ed.), *The frontal lobes revisited.* New York: IRBN.

The article is devoted to the problem of conceptualization of prefrontal cortex functions targeted to facilitate the process of neuropsychological assessment. The model based on neuroanatomical data is proposed. In the model tree different dimensions are distinguished: 1) dorsolateral vs orbitofrontal cortex; 2) left vs right hemisphere; 3) cortex vs subcortical structures and white matter pathways.

**Keywords:** neuropsychological assessment, functions of prefrontal cortex.

*Отримано: 23.07.2011*