

## НЕЙРОПСИХОЛОГІЯ НИНІШНЬОГО СТОРІЧЧЯ: ПЕРСПЕКТИВИ Й ВИКЛИКИ

Дмитро Власюк

Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна,  
vlas.dm@gmail.com

Безпрецедентний розвиток нейронаук на початку ХХІ ст. ставить проблему переосмислення дослідницької парадигми сучасної нейропсихології. Із часу започаткування об'єктивної нейропсихології її основні здобутки лежали в галузі клінічної нейропсихології – виявлення поведінкових наслідків органічних і фізичних ушкоджень мозку.

Численні дослідження нейронаук у межах низки дослідницьких програм приносять нові результати, що покращують розуміння нейронних основ психіки. У середині другої декади століття проголошено про початок масштабних проектів дослідження мозку в Європейському Союзі (Human Brain Project /НВР) і США (Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies). Також розширено фінансову підтримку започаткованих раніше державних і приватних дослідницьких проектів, таких як канадська програма «Brain Canada» чи програми Інституту наук про мозок Аллена в Сіетлі. У процесі їх реалізації з'являються нові технології діагностики індивідуальних особливостей нервової системи й значно вдосконалюються вже наявні. Найбільш перспективними є методи неінвазивної нейровізуалізації, що ґрунтуються на функціональній магніто-резонансній та рентгенівській комп'ютерній томографії. Також відзначається необхідність гармонійного поєднання нових і традиційних методів дослідження.

Це дає великі масиви даних для їх співвіднесення з особливостями ментальних процесів та соціальної поведінки особистості. У такій ситуації фокус нейропсихологічних досліджень зміщується від традиційних методів клінічної психології діагностики й корекції порушень нервової системи на покращення когнітивної та соціальної адаптованості людини. Серед дослідників виникають дискусії щодо оптимального вибору й пріоритетності перспективних стратегій досліджень, а також довготривалих соціальних наслідків розвитку нейронаук.

У статті розглянуто сучасний стан дослідницьких стратегій, проекти, у яких вони реалізуються, розвиток технологій дослідження нервової системи та вплив отриманих результатів на покращення буття людини. Проаналізовано проблеми розвитку нейропсихології в Україні й розкрито участь українських нейропсихологів у міжнародних дослідницьких програмах.

**Ключові слова:** сучасна нейропсихологія, проекти дослідження мозку, методи нейронаук.

**Dmitro Vlasyuk. Neuropsychology of this Century: Prospects and Challenges.**

The unprecedented development of neuroscience in the early 21st century raises the problem of rethinking the research paradigm of modern neuropsychology. Since the establishment of objective neuropsychology, its main achievements lay in the field of clinical neuropsychology – detection of behavioral consequences of organic and physical brain damage.

Numerous neuroscience studies within a number of research programs give new results that improve understanding of the neural foundations of the psyche. In the middle of the second decade of the century, it was announced the beginning of large-scale projects of brain research in the European Union (Human Brain Project /HBP) and the United States (Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies). Financial support has also been expanded for previously initiated public and private research projects, such as the Canadian program (Brain Canada) and the Allen Institute for Brain Science program. In the process of their implementation there are new technologies of diagnosis of individual characteristics of the nervous system appear and significantly improved the existing ones. The most promising methods are non-invasive neuroimaging based on functional magnetic resonance tomography and computed tomography scanning. It is also noted that there is a need for a harmonious combination of new and traditional research methods.

This gives large data sets for their correlation with the peculiarities of mental processes and social behavior of the individual. In such a situation, the focus of neuropsychological research is shifting from traditional methods of clinical psychology of diagnosis and correction of nervous system disorders, improvement of cognitive and social adaptation of a person. Among the researchers there are discussions about the optimal choice and priority of promising research strategies, as well as long-term social consequences of the development of neuroscience.

The current state of research strategies, projects in which they are implemented, the development of technologies for the study of the nervous system and the impact of the results on the improvement of human existence are discussed in the article. The article analyzes the problems of development of neuropsychology in Ukraine and considers the ways of participation of Ukrainian neuropsychologists in international research programs.

**Key words:** contemporary neuropsychology, brain research projects, methods of neuroscience.

**Дмитрий Власюк. Нейропсихология нынешнего века: перспективы и вызовы.** Беспрецедентное развитие нейронаук в начале XXI в. ставит проблему переосмысления исследовательской парадигмы современной нейропсихологии. Со времени учреждения объективной нейропсихологии ее основные достижения лежали в области клинической нейропсихологии – выявление поведенческих последствий органических и физических повреждений мозга.

Многочисленные исследования нейронаук в рамках ряда исследовательских программ дают новые результаты, которые улучшают понимание нейронных основ психики. В середине второй декады века объявлено о начале масштабных

проектів дослідження мозку в Європейському Союзі (Human Brain Project /HBP) і США (Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies). Також розширена фінансова підтримка начатих раніше державних і приватних дослідницьких проєктів, таких як канадська програма «Brain Canada» і програми Інституту наук про мозок Аллена в Сієтлі. В процесі їх реалізації з'являються нові технології діагностики індивідуальних особливостей нервної системи і значительно удосконалюються вже існуючі. Найбільш перспективними є методи неінвазивної нейровізуалізації, засновані на функціональній магніто-резонансній і рентгеновській комп'ютерній томографії. Також відзначається необхідність гармонічного поєднання нових і традиційних методів дослідження.

Це дає великі масиви даних для їх порівняння з особливостями ментальних процесів і соціального поведіння особистості. В такій ситуації фокус нейропсихологічних досліджень зсувається від традиційних методів клінічної психології діагностики і корекції порушень нервної системи, удосконалення когнітивної і соціальної адаптивності людини.

Серед дослідників виникають дискусії стосовно оптимального вибору і пріоритетності перспективних стратегій досліджень, а також довготривалих соціальних наслідків розвитку нейронаук.

В статті розглядається сучасний стан дослідницьких стратегій, проєкти, в яких вони реалізуються, розвиток технологій дослідження нервної системи і вплив отриманих результатів на удосконалення життя людини. Аналізуються проблеми розвитку нейропсихології в Україні і розкривається участь українських нейропсихологів в міжнародних дослідницьких програмах.

**Ключові слова:** сучасна нейропсихологія, проєкти дослідження мозку, методи нейронаук.

### **Постановка наукової проблеми та її значення**

Нейропсихологія як одна з нейронаук на початку ХХІ ст. опинилася перед очевидністю кардинальної зміни своєї дослідницької парадигми, чи не найбільшої за всю свою майже 150-річну історію. Необхідність такої зміни стає очевидною на фоні безпрецедентних скоординованих зусиль різних дисциплін у спробах зрозуміти механізми функціонування мозку. Цю наукову проблему розглядають як головний виклик сторіччя в багатовікових спробах людства досягнути природу людської свідомості.

За майже 140 років, які минули з першопочаткової спроби В. Вундта реформувати психологію на раціоналістичних засадах, його мета – розкрити закономірності функціонування психіки методами експериментальної фізіологічної психології – значною мірою залишається не досягнутою. Незважаючи на вражаючий прогрес у розвитку дослід-

ницьких технологій вивчення нервової системи й колосальний масив емпіричних даних, розуміння механізмів функціонування нервової системи як матеріальної основи психіки є далеким від задовільного. На межі століть в основному сформувався розуміння масштабів і ресурсоємності досягнення поставленої мети, що відображено в започаткуванні низки масштабних проектів із вивчення мозку. Комплексний характер проблеми й необхідність мультидисциплінарного підходу започаткували формування в другій половині минулого століття нової галузі знань, що названа нейронаукою, невід'ємною складовою частиною якої є сучасна нейропсихологія. На сьогодні нейронаука перетворилась у галузь знань, що інтенсивно розвивається, а теоретичну й прикладну значимість заявлених цілей важко переоцінити. Одночасно загострилися теоретичні дискусії щодо оптимальних напрямів наукового пошуку. У цій статті ставимо за мету аналіз стратегій, проектів, технологій, емпіричних здобутків і концептуальних підходів сучасної нейронауки та їх вплив на стан і розвиток сучасної нейропсихології.

### **Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження**

Однією з основних стратегій досягнення розуміння неврологічного підґрунтя психіки на початку століття стало завдання визначення топографічної схеми й функціональності конектому. Поняття «конектом» для позначення карти синаптичних зв'язків між нейронами в мозку було одночасно та незалежно запропоновано двома американськими неврологами О. Спорнсом (O. Sporns) і П. Хагманном (P. Hagmann). У 2005 р. Спорнс із колегами опублікував статтю «Людський конектом, структурний опис людського мозку», у якій, зокрема, зазначив: «Для розуміння функціонування мережі необхідно знати її елементи та їх взаємозв'язки». **Мета цієї статті** полягає в тому, щоб розкрити стратегії досліджень, спрямованих на комплексний опис елементів мережі та їх сполучень у людському мозку. Ми пропонуємо назвати цей набір даних людським «конектомом» і вважаємо, що «термін знайде застосування в когнітивній неврології та нейропсихології» (Sporns et al., 2005).

Потрібно зазначити, що якщо значна частина дослідників наполягає на тому, що термін «конектом» слід застосовувати лише для повного опису зв'язків нервової системи організму, то інколи науковці вважають допустимим використовувати його для позначення карти нервових шляхів не всього організму, а лише його частини.

До цього часу повний конектом організму описано лише для нематоди *Caenorhabditis elegans*, яку з 1974 р. використовують у

якості модельного організму для широкого спектра досліджень у галузі генетики, нейрофізіології, біології розвитку, обчислювальної біології. Нервова система цього круглого черв'яка нараховує 302 нейрони, які утворюють близько 7000 синаптичних зв'язків, у той час як нервова система людини нараховує порядку  $10^{11}$  нейронів і  $10^{14}$  синаптичних зв'язків (Huang, 2015). Незважаючи на вражаючий розвиток технологій із 1986 р., коли розшифровано перший повний конектом, такі масштаби можуть виявитися неприступними ще кілька десятків років. Тому в стратегії з розкриття структури конектому мозку простежують дві основні тенденції – виділення окремих рівнів деталізації структури нейронних зв'язків (мікро-, мезо- й макрорівень) і дослідження структури окремих функціональних блоків мозку. Як і в проекті з розшифрування геному людини, мета створення моделі конектому недосяжна без створення роботизованих дослідницьких систем, спроможних в автоматичному режимі вести процеси картування топографії нейронних структур. Хоча на сьогодні технології нейровізуалізації досягли роздільної здатності мікрометричного рівня (тобто рівня окремого нейрона) й алгоритми комп'ютерної неврології розвиваються швидкими темпами, створення таких автоматизованих технологій розпізнання будови мозку залишається справою майбутнього.

**Проекти.** Зрозуміло, що завдання розуміння роботи мозку як цілісної системи настільки масштабне, що очевидна неможливість його виконання силами окремих наукових колективів, а це вимагає міжнародної координації й об'єднання ресурсів, як у проектах з освоєння технологій енергетики ядерного синтезу, що було продемонстровано раніше в таких проектах, як розшифровка геному людини чи виявлення бозону Хіггса (Brose, 2016).

Початок нинішнього століття відзначено появою низки масштабних проектів дослідження мозку. Один із найбільш амбіційних проектів – європейський проект «Людський мозок» (Human Brain Project HBP) – заснований у 2013 р. і розрахований на 10 років. Обсяг фінансування на весь період передбачено в розмірі 1,6 млрд дол. На сьогодні серед учасників нараховується 116 організацій із різних країн Європи, а також Туреччини та Ізраїлю. Проект має на меті створити комп'ютерну модель мозку людини й мишей. (Amunts et al., 2016)

У тому самому 2013 р. президент США Барак Обама повідомив про рішення почати з 2014 р. проект, спрямований на вивчення роботи мозку. Він називається «BRAIN», що розшифровується як «Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies»

(«Вивчення мозку за допомогою розвитку інноваційних нейротехнологій»). За планами Обама, ініціатива покликана дати вченим можливість скласти в динаміці картину діяльності головного мозку й краще зрозуміти, як ми думаємо, учимося та запам'ятовуємо. Основними учасниками проекту визначено Національний інститут охорони здоров'я (NIH), Агентство перспективних дослідницьких оборонних проектів (DARPA) і Національний науковий фонд (NSF) (Martin, 2016).

У 2016 р. Агентство передових досліджень у сфері розвідки (IARPA), яке здійснює наукові дослідження для розвідувального співтовариства США, спрямувало 100 млн дол на дослідницьку програму «Штучний інтелект на основі нейронних мереж» (Intelligence Machine from Cortical Networks/MICrONS), мета якої – проведення інженерного аналізу зразка мозку величиною в один кубічний міліметр, вивчення механізмів, за допомогою яких мозок виконує обчислення, і на основі отриманих даних підвищення продуктивності алгоритмів машинного навчання й штучного інтелекту.

У 2014 р. уряд Японії прийняв рішення фінансово підтримати національний проект «Brain/MINDS» («Brain Mapping by Integrated Neurotechnologies for Disease Studies») «Картування мозку з допомогою комплексної нейротехнології для аналізу захворювань», спрямувавши 45 млн дол. на перші два роки програми (Okano et al., 2016).

У травні 2016 р. оприлюднені плани Південної Кореї запуснути грандіозний проект у 2018 р. для розробки інноваційних нейротехнологій і створення дослідної екосистеми мозку. Передбачено чотири основні сфери досліджень: створення карт мозку в декількох масштабах, розробка нейротехнологій для картування мозку, розвиток досліджень, пов'язаних зі штучним інтелектом, і розробка персоналізованої медицини для неврологічних розладів (Jeong et al., 2016).

Дослідницький канадський проект «Brain Canada» заснований у 1998 р. під назвою «NeuroScience Canada Partnership and Foundation» («Партнерство й фундація неврології Канади»). У 2011 р. уряд Канади разом із проектом «Brain Canada» створив канадський Фонд досліджень мозку, який до січня 2018 р. спрямував понад 200 млн дол. для підтримки канадських досліджень мозку (Jabalpurwala, 2016).

Австралійський дослідницький проект – альянс досліджень мозку – (Australian Brain Alliance /ABA) запущено в лютому 2016 р. Альянс визначає чотири основні завдання: пошук способів оптимізації й відновлення здорового функціонування мозку протягом усього життя, розробка нейронних інтерфейсів для запису та контролю активності мозку для відновлення його функцій, виявлення нейронної основи

навчання протягом усього життя й здобуття нових знань у галузі комп'ютерної нейронауки (Richards et al., 2016).

У грудні 2017 р. на зустрічі в австралійській столиці Канберрі представники названих вище проєктів підписали декларацію про намір створити Міжнародну ініціативу дослідження мозку (International Brain Initiative (IBI)). У ній відзначено, що поставлені перед дослідниками мозку цілі настільки великі й складні, що жодна окрема взята програма не спроможна впоратися з ними самостійно. Так, започатковано процес широкої міжнародної кооперації та координації зусиль дослідників.

Потрібно відзначити ту роль, яку в нейродослідженнях відіграють приватні незалежні організації, що отримують фінансування від мережі філантропічних фондів. Серед них – заснований у 2003 р. Алленовський інститут наук про мозок (Allen Institute for Brain Science). Інститут створено в м. Сіетлі мільярдером і філантропом Полом Алленом, співзасновником корпорації «Microsoft». Зосередившись із 2006 р. на дослідженні генної експресії на клітинному рівні в мозку миші та створивши тривимірні атласи головного й спинного мозку цих гризунів, у 2010 р. інститут спрямовує напрацьовані нейротехнології на дослідження будови нервової системи людини. У 2015 р. приступили до створення загальної бази даних типів клітин у мозку, яка на сьогодні містить дані про генетичні профілі 240 клітин мозку миші й готується перейти до дослідження клітин мозку людини. Для проведення досліджень інститут отримав фонди в розмірі 500 млн дол.

Серед інших масштабних ініціатив можна відзначати схвалений у березні 2016 р. парламентаріями Китаю проєкт Китайської академії наук (China Brain Project). Він розрахований на 15-річний термін і має на меті вивчення нейронної основи когнітивних функцій, діагностики та профілактики захворювань головного мозку й створення на цій основі інформаційних технологій штучного інтелекту (Poo et al., 2016). Про свою зацікавленість приєднанням до міжнародних зусиль із вивчення мозку заявили такі відносно невеликі країни, як Тайвань та Малайзія, які, утім, володіють значними напрацюваннями в галузі комп'ютерної техніки й біотехнологій (Sumari et al., 2017).

Якщо розглядати місце та роль України у світовому просторі неврологічних й особливо нейропсихологічних досліджень, то картина досить невтішна. Агресія Росії не лише відволікає величезні ресурси держави, але фактично спричинила припинення випуску українського неврологічного журналу «Нейронауки: теоретичні та клінічні аспекти»,

який видавали в Донецькому медичному університеті. Основним центром неврологічних досліджень в Україні залишається Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця Національної академії наук (НАН) України, який очолює академік О. О. Кришталь, фахівець у галузі механізмів іонної проникності, локалізованих на мембрані сенсорних нервових клітин. Академік О. О. Кришталь також очолює Українське товариство нейронаук. Однак у нинішніх умовах фінансування української неврології й забезпечення сучасним дослідницьким обладнанням не дають змоги розраховувати на суттєві наукові прориви. Тому для сучасної нейропсихології в Україні традиційна стратегія нейропсихологічних досліджень, яка полягає у співвіднесенні індивідуальних особливостей функціонування нервової системи з відмінностями в когнітивних процесах і поведінці, виявляється з фінансових причин практично недоступною на рівні сучасних технологій.

**Технології.** Якщо розглядати технології, які використовуються для сучасної нейропсихологічної діагностики, то найбільший прогрес спостерігаємо в розвитку таких неінвазивних методів нейровізуалізації, як функціональна магніто-резонансна томографія й рентгенівська комп'ютерна томографія. Останні 10 років простежено вражаючий прогрес у зростанні роздільної здатності цих технологій. На сьогодні команда вчених з Інституту нейронаук імені Гелен Віллс (Helen Wills Neuroscience Institute) Каліфорнійського університету в Берклі під керівництвом Девіда Фейнберга розробила технологію, що дає змогу отримати зображення ділянки кори мозку розміром у 400 мікрометрів, що відповідає розмірам перерізу колонок нейронів, які відіграють ключову роль у діяльності кори головного мозку людини. Це проривне дослідження проведено на кошти гранту в 13,43 млн дол. США, які виділено в рамках фінансування проекту «BRAIN Initiative». Серійний зразок дослідницької установки на основі технології, що отримала назву «NexGen 7t MPT», планується випустити у співробітництві з фірмою «Сіменс» у 2019 р. (Feinberg et al., 2017).

Комп'ютерна томографія – метод неінвазивного дослідження внутрішньої будови органів організмів, запропонований у 1972 р. Годфрі Хаунсфілд та Алланом Кормаком, які були удостоєні за цю розробку Нобелівської премії. Метод заснований на вимірі й складній комп'ютерній обробці різниці ослаблення рентгенівського випромінювання різними за щільністю тканинами. Сьогодні рентгенівська комп'ютерна томографія є основним томографічним методом дослідження внутрішніх органів людини з використанням рентгенівського



випромінювання. У 2017 р. корпорація заявила про створення серійних дослідницьких установок на технології з ультрависокою роздільною здатністю, які спроможні видавати зображення об'єктів розмірами в 150 мікрометрів.

Поряд з указаними методами для дослідження структури конектому мишей використовують новітні методи флюорісцентної томографії. При застосуванні таких методів з допомогою вірусів в організмі миші формують генномодифіковані нейрони, які здатні випромінювати світло під дією електромагнітного випромінювання певного діапазону. Саме такі методи реалізуються в роботі консорціуму з Інституту наук про мозок Аллена, Байлорського медичного коледжу, Принстонського університету й Гарвардської медичної школи в роботі над вищезгаданим проектом «MICrONS». Роздільна здатність такого підходу становить порядку 40 нанометрів.

У березні 2018 р. в провідному науковому журналі «Nature» опубліковано статтю, у якій дослідницька група використовувала два взаємодоповнювальні методи високої пропускної здатності для відображення проєкційних моделей окремих нейронів в основній зорової корі миші. (Han et al., 2018). Спочатку застосовано аксональне трасування на основі флуоресценції цілісного мозку, щоб зібрати тонку анатомію окремих нейронів. Потім команда використовувала високопродуктивне ДНК-секвенування генетично штрих-кодованих нейронів (MAPseq) для отримання проєкційних моделей сотень окремих нейронів. Хоча метод штрих-кодування ДНК давно відпрацьований у молекулярній біології, для цілей відстеження будови нейронних зв'язків у мозку його застосовано вперше.

Усі вищерозглянуті методи дають інформацію для створення функціональних комп'ютерних моделей нервової системи, які уможливають моделювання роботи складних нейронних ансамблів на рівні окремих синаптичних контактів та аналіз поведінки системи за зміни окремих параметрів стану. Виконання такого завдання вимагає створення спеціальних алгоритмів обчислювальної неврології. Це завдання є одним із провідних для європейського проекту дослідження мозку HBR. На основі комп'ютерних технологій у рамках цього проекту створено спеціальні технологічні платформи, які складаються з прототипів апаратного забезпечення, програмного забезпечення, баз даних і програмних інтерфейсів. Ці інструменти дистанційно доступні для дослідників із різних організацій у всьому світі через лабораторію

проекту. Для підтримки таких досліджень HBR пропонує безкоштовні навчальні курси, у тому числі й для неспеціалістів із суміжних областей (Richardson, 2017).

Незважаючи на вражаючий прогрес нових методів, на думку окремих дослідників, методи, що вже стали класичними, не втрачають свого значення. Так Дж. Медін і С. Фішер-Баум стверджують, що метод окремих клінічних випадків не перестане бути актуальним, а завдання полягає в гармонійному поєднанні нових технологій нейронаук із класичними методами нейропсихології допомоги людям з ураженнями центральної нервової системи, істотно підвищивши можливості лікарів і кінічних нейропсихологів (Medina et al., 2017). Те, що метод окремих випадків мозкових уражень відіграватиме важливу роль у валідації теоретичних підходів у когнітивній нейропсихології, відзначають також М. Сутъє й Д. Тренел із відділення нейрології університету Айови (Sutterer et al., 2017).

Водночас серед провідних фахівців у галузі нейронаук триває широка дискусія з основних питань пошуку оптимальної стратегії дослідження мозку. Особливо широкі дискусії розгорнулися щодо перспективності математично моделюючого підходу, де на стику нейронаук і комп'ютерних технологій сформувалася нова галузь наукових досліджень – нейроінформатика, яка переживає стрімкий прогрес. Розмірковуючи над проблемами й загрозами обчислювального підходу, французький нейролог І. Френьяк намагається знайти відповідь на питання: «Чи є індустріалізація неврології найбільш правильним засобом досягнення істотного прогресу в знаннях про мозок? Чи є в дослідників безпечна «дорожня карта» на основі наукового консенсусу? Чи гарантують ці великомасштабні підходи, що наука досягне кращого розуміння мозку?» (Fregnac, 2017).

Ще одна проблема, із якою неодмінно зіткнуться нейропсихологи в найближчому майбутньому, полягає в тому, що виявлення відмінностей у будові нервової системи дає змогу створити систему нейромаркерів для прогнозування низки важливих аспектів поведінки, таких як навчання, здоров'я, схильність до ризику чи адикції (Gabrieli, J. et al., 2015). Це породжує складний комплекс етичних проблем, подібних до тих, які супроводжує процес тестування інтелекту й несуть потенційні загрози дискримінації.

### **Висновки й перспективи подальших досліджень**

Підбиваючи підсумки основних тенденцій розвитку сучасної нейропсихології, бачимо, що основною проблемою на нинішньому етапі є

гармонійна інтеграція технологій дослідження сучасних нейронаук із традиційними методами експериментальної й клінічної нейропсихології. При цьому слід тримати у фокусі уваги складний комплекс етичних проблем, пов'язаних з останніми досягненнями нейронауки, які можуть мати неочевидні та віддалені наслідки. Українська нейропсихологія для підтримання відповідного світовим стандартам рівня повинна скеровувати свої зусилля на співпрацю з провідними, передусім європейськими, центрами нейропсихологічних досліджень, насамперед у царині нейроінформатики, користуючись відкритим і доступними для використання базами даних і відповідним аналітичним інструментарієм.

### **Література**

1. The Human Brain Project: creating a European research infrastructure to decode the human brain / K. Amunts, C. Ebell, J. Muller [et al] (2016) // *Neuron*. – 92(3). – P. 574–581.
2. Brose K. (2016) Global neuroscience / Brose K // *Neuron*. – 92(3). – P. 557–558.
3. Feinberg D. A. (2017) Pushing the limits of ultra-high resolution human brain imaging with SMS-EPI demonstrated for columnar level fMRI / D. A. Feinberg, A. T. Vu, A. Beckett // *Neuroimage*. – 164. – P. 155–163.
4. Fregnac Y. (2017) Big data and the industrialization of neuroscience: A safe roadmap for understanding the brain? / Y. Fregnac // *Science* 27 Oct. – 2017. – Vol. 358, – Issue 6362. – P. 470–477.
5. Gabrieli, J. D. E. (2015) Prediction as a humanitarian and pragmatic contribution from human cognitive neuroscience / J. D. E. Gabrieli, S. S. Ghosh, S. Whitfield-Gabrieli // *Neuron*. – 85. – P. 11–26.
6. . The logic of single-cell projections from visual cortex / Y. Han, J. M. Kebschull, R. A. A. Campbell [et al] // *Nature*. – 556. – P. 51–56.
7. Huang, Z. J. NEUROSCIENCE. It takes the world to understand the brain. (2015) / Z. J. Huang, L. Luo // *Science*. – 350. – P. 42–44.
8. Jabalpurwala I. (2016) Brain Canada: one brain one community / I. Jabalpurwala // *Neuron*. – 92(3). – P. 601–606.
9. Korea brain initiative: Integration and control of brain functions / S-J. Jeong, H. Lee, E-M. Hur. – *Neuron*. – 2016. – 92(3). – P. 607–611.
10. Martin C. (2016) The BRAIN Initiative: building, strengthening, and sustaining / C. Martin, M. Chun. – *Neuron*. – 92(3). – P. 570–573.
11. Medina J. (2017): Single-case cognitive neuropsychology in the age of big data, *Cognitive Neuropsychology* / J. Medina & S. Fischer-Baum // DOI: 10.1080/02643294.2017.1321537
12. Brain/MINDS: A Japanese National Brain Project for Marmoset Neuroscience / H. Okano, E. Sasaki, T. Yamamori [et al] // *Neuron*. – 2016. – 92. – P. 582–590.
13. China Brain Project: basic neuroscience, brain diseases, and brain-inspired computing / M. Poo, J. Du, N. Ip [et al]. – *Neuron*. – 2016. – 92(3). – P. 591–596.

14. Australian Brain Alliance / L. Richards, P. Michie, D. Badcock [et al.] // *Neuron*. – 2016. – 92(3). – P. 597–600.
15. Richardson R. M., (2017) *Global Brain Initiatives* / R. M. Richardson // *Neurosurgery*. – Vol. 80. – Issue 5. – 1 May 2017. – P. 21–22,
16. Sporns O. (2005) *The human connectome: A structural description of the human brain* / O. Sporns, G. Tononi, R. Kötter // *PLoS Computational Biology*. – 2005. – 1. – P. 42.
17. Sumari, P. We must invest in applied knowledge of computational neurosciences and neuroinformatics as an important future in Malaysia: the Malaysian brain mapping project / P. Sumari, Z. Idris, J. M. Abdullah // *The Malaysian Journal of Medical Sciences*. – 2017. – 24(1). – 1–9. PMID:28381924.
18. Sutterer, M. J. (2017). *Neuropsychology and cognitive neuroscience in the fMRI era: A recapitulation of localizationist and connectionist views* / M. J. Sutterer, & D. Tranel // *Neuropsychology*. – 2017. – 31(8). – P. 972–980.

Received: 28.04.2018

Accepted: 23.05.2018