

НЕЙРОПСИХОЛОГІЯ

УДК 159.9.01

DOI 10.26565/2225-7756-2022-72-05

О. Є. РОНЖЕС (Олена Євгеніївна Ронжес)

*магістр психології, магістр економіки,**аспірантка кафедри прикладної психології**Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна**майдан Свободи 4, м. Харків, Україна, 61022**E-mail: wotanineurope@me.com**https://orcid.org/0000-0003-3260-8996*ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАВЧАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ
НЕЙРОКОМП'ЮТЕРНОГО ІНТЕРФЕЙСУ

Мультизадачність стала великою проблемою для сучасного суспільства. Ефективність навчання не відповідає вимогам практики, бо неможливо навчити людину мультизадачності, тому що це упирається в об'єм оперативної пам'яті та природні особливості когнітивних процесів, які є у людини. Сучасне технологічне навантаження перевищує природні можливості людини. Одним із варіантів рішення цих проблем є розширення когнітивних можливостей людини за допомогою нейрокомп'ютерного інтерфейсу (НКІ). Метою статті є огляд сучасних можливостей використання НКІ, в тому числі, для цілей навчання. В статті розглядаються сучасні технології зчитування сигналів мозку та нервової системи людини та обирається оптимальна технологія для підвищення ефективності навчання дорослих завдяки НКІ. Методи дослідження: систематичний пошук, синтез, аналіз та узагальнення наукових даних. За ключовими словами у наукометричних базах було знайдено 2328 матеріалів, з них 18 виявилися релевантними темі дослідження. В результаті було виявлено, що для підвищення ефективності навчання можна рекомендувати обрати використання психофізіологічного методу транскраніальної електростимуляції (ТЕС) в поєднанні з нейрокомп'ютерним інтерфейсом на базі методу електроенцефалографії (ЕЕГ), як один з неінвазивних методів впливу та отримання зворотного зв'язку завдяки НКІ, без відомих побічних ефектів впливу на когнітивні функції та на особистість людини.

Ключові слова: *нейрокомп'ютерний інтерфейс, транскраніальна електростимуляція, ефективність навчання, ЕЕГ, мультизадачність.*

Як цитувати. Ронжес, О. (2022). Підвищення ефективності навчання за допомогою нейрокомп'ютерного інтерфейсу. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Психологія», (72), 44-51.* <https://doi.org/10.26565/2225-7756-2022-72-05>

In cites: Ronzhes, O. (2022). Improving the Effectiveness of Learning with the Help of Neurocomputer Interface. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series "Psychology", (72), 44-51.* <https://doi.org/10.26565/2225-7756-2022-72-05>. (in Ukrainian).

Постановка проблеми. З розповсюдженням діджиталізації процесів життєдіяльності, в тому числі і в навчанні, постає питання оптимального використання комп'ютерних і машинних можливостей. Для ефективного навчання та відпрацювання навичок в складних навчальних середовищах, в яких максимально задіяні когнітивні функції, проводяться розробки і дослідження застосування мозкових або нейрокомп'ютерних інтерфейсів (НКІ) (Brain Computer Interface, BCI). Найчастіше таке навчання пов'язане з мультизадачністю, що, зазвичай, розглядається як контрпродуктивний і стресогенний фактор (Taylor, 2020). Як оптимізувати когнітивні процеси при багатозадачності за допомогою BCI в тих професіях, де її не можна уникнути? Комп'ютеризації завдань і середовища недостатньо, бажана наявність об'єктивного зворотного зв'язку про стан нервової системи і

психіки того, хто навчається, а так само, можливість екологічного впливу. Таку можливість дають НКІ, що забезпечують відстеження реакції психіки, інформацію про стан ЦНС та їх аналіз в реальному часі, а також зовнішні коректуючі впливи безпосередньо на мозок.

Аналіз досліджень. Інтерфейси „мозок-комп'ютер“ поступово наближаються до епіцентру наукового інтересу протягом останніх кількох десятиліть. Підстави, на яких базуються НКІ, походять з робот І. П. Павлова про умовні рефлексії та регулюючу роль кори головного мозку. Після розвитку його ідей, П. К. Анохін в 1935 року довів, що принцип зворотного зв'язку має вирішальну роль у регулюванні як вищих пристосувальних реакцій людини, так і її внутрішнього середовища. Пізніше Н. П. Бехтерева з 1968 по 2008 рік займалася розшифровкою мозкових кодів психічної

діяльності. Реалізація можливості симбіозу людини і комп'ютера розглядалася ще в 1960 році дослідницькою агенцією DARPA (Управління перспективних дослідницьких проєктів міністерства оборони США), та науковці агенції вважали, що спочатку розширений інтелект людини буде перевищувати повністю штучний (Licklider, 1960).

Дослідження НКІ розпочалися у 1970-х роках у Каліфорнійському університеті в Лос-Анджелесі (UCLA). Перший в історії інвазивний НКІ був створений Ф. Кеннеді та його колегами з використанням електродів, імплантованих в кору головного мозку мавп. А вже в 2000 році Ф. Кеннеді з колегами оприлюднив результати дослідження „Безпосереднє керування комп'ютером центральною нервовою системою людини“, де описав інвазивну альтернативу зовнішнім пристроям інтерфейсу «мозок-комп'ютер». Ця система вимагала імплантації спеціального електрода у зовнішні шари неокортексту людини, а записані сигнали передавалися на приймач і оброблялися для наведення курсору на монітор комп'ютера перед пацієнтом, який навчився керувати курсором для створення синтетичної мови та набору тексту (Kennedy, 2000)

В наші дні поряд з вимірюванням гемодинамічної активності мозку і сумарної біоелектричної активності головного мозку (методи МРТ та ЕЕГ) новий поштовх отримав класичний метод вивчення імпульсної активності нейронів. Є висновки про зв'язок ефективності навчання з синхронізацією роботи синапсів. Вчені компанії NeuroLink, створеної у 2017 році І. Маском, у своїй презентації у супроводженні статті „Інтегрована тисячоканальна платформа інтерфейсу мозок-машина“, представили дослідження і розробки інвазивного НКІ (Musk, 2019). Ними була поставлена задача максимально наблизити електроди до нейрону для запису вихідних від нього потенціалів дії і цілеспрямованого зворотного впливу на активність нейронів через нейромедіатори. Кінцева мета проєкту – створення бездротового довговічного чіпа з ультрапропускнуою здатністю для можливості швидкої імплантації в мозок. Згідно з даними сучасної нейронауки, психічна діяльність людини – це сплески її нейронної активності, яка може бути регульована. Деякі вчені вважають (Власенко, 2020), що стрімкий розвиток штучного інтелекту веде до злиття або симбіозу людини і машинних нейротехнологій як актуалізацію максимального потенціалу особистості. Їх противники (Асєєва, 2020) бачать у цьому ризик втрати самоідентифікації, особистісні розлади та інші потенційні психологічні проблеми. Так само

виникають і питання філософських категорій, що побічно впливають на поняття особистості в психології.

Розгляд цих питань є неминучим в найближчому майбутньому, враховуючи експоненціальний розвиток нейротехнологій і сучасні технологічні можливості. Наслідком цього можуть стати численні звернення населення за професійною психотерапевтичною допомогою і збільшення залежностей, прямою або непрямою причиною яких є нейростимуляції різного порядку. Потрібен пошук такої можливості підвищення ефективності навчання за допомогою сучасних технологій, яка не буде створювати небезпеку небажаного трансформування особистості та допоможе мінімізувати можливі побічні ефекти, але також і оптимізувати стан людини для покращення якості вищих психічних функцій у період інтенсивного навчання, пов'язаного з мультизадачністю (наприклад, підготовка фахівців складних професій).

Таким чином, **метою** статті є огляд існуючих технологій підвищення ефективності навчання за допомогою НКІ. Дана мета конкретизувалася в наступних **завданнях**:

1. Провести систематичний огляд існуючих на сьогодні технологій НКІ, спрямованих на підвищення ефективності навчання;
2. Надати порівняльну характеристику та оцінку технологій навчання за допомогою НКІ.
3. Розглянути приклад однієї з технологій НКІ.

Методи дослідження. Пошук релевантної проблеми дослідження інформації вівся за допомогою запитів до пошукових Інтернет-систем Google, Google Scholar, Web of Science, Scopus та Академія Гугл за ключовими словами: Brain-Computer Interface, Learning, Education, Transhumanism and personality, Transcranial Stimulation. Всього було знайдено 2328 джерел, з них 18 релевантних проблемі та меті дослідження. Методами аналізу виявлених джерел були аналіз, синтез та узагальнення отриманої інформації.

Результати. Технології НКІ можна поділити на інвазивні (нейроімпланти в певні ділянки мозку) та неінвазивні (поверхневі, які не пошкоджують шкіру голови людини, які легко накладати та знімати) (Jamil, 2021). Можна проілюструвати розподіл таких методів наступною схемою (див. рис. 1).

Імпланти НКІ, що фіксують сигнали безпосередньо в мозку, застосовуються для покращення якості життя людей з обмеженими можливостями та для керування зовнішніми пристроями або кіберпротезами у людей з травмами хребта, мозку або пошкодженими системами руху (Browarska, 2018). Для інвазивного

НКІ застосовуються: електрокортикографія (ЕСОГ) або внутрішньочерепна, інтракраніальна ЕЕГ (іЕЕГ), що можна визначити як найбільш «м'який» хірургічний метод, коли електроди прилягають безпосередньо до поверхні мозку і глибокого втручання у його структури не відбувається. Також існує внутрішньокірковий запис (intracortical recordings) з імплантатами – спосіб з виживленням електродів в товщу кори, зазвичай моторної, коли електроди підводять ще ближче до джерела сигналу і операція стає ще складнішою.

Неінвазивні НКІ створено на базі на базі методу ЕЕГ (Browarska, 2018).

У порівнянні з інвазивними НКІ, які дають більш точний запис сигналів мозкової активності, транскраніальні НКІ мають зв'язок з мозком через кості черепа, м'язи та шкірні тканини. Водночас

неінвазивність НКІ за ЕЕГ перебиває для цілей навчання ці мінуси у якості сигналу завдяки невтручанню в людське тіло та пов'язаними з цим психологічними і фізіологічними наслідками. До того ж можливості неінвазивних НКІ ще не вичерпані, що підтверджується створенням все більш удосконалених пристроїв. Розвиток систем НКІ просунувся від простого запису ЕЕГ до дійсно ефективного зв'язку «мозок-комп'ютер». Вони застосовуються переважно у навчанні, індустрії гри, релаксації, медицині, наукових дослідженнях, і все частіше у маркетингу, бізнесі та виробничій галузі.

Таким чином можна стверджувати, що для навчальної галузі серед сучасних НКІ має сенс обрати неінвазивні нейрокомп'ютерні інтерфейси, що використовують сигнали, отримані за методом ЕЕГ.



Рис. 1. Методи дослідження процесів мозкової активності на психофізіологічному рівні

Наведемо приклади найпоширеніших сучасних девайсів НКІ у стані альфа-версії, тобто готових до використання.

Деякі пристрої супроводжуються безкоштовним відкритим програмним кодом, який можна редагувати або доповнювати під потреби конкретного дослідження або навчання, наприклад Emotiv Eroc Flex, Emotiv Insight, Emotiv Eroc X, Macrotellect Brainlink, MyndPlayMyndBand, Neeuro SenzeBand, FocasCalm, Interaxon Muse, OmniFit Brain. Інші пристрої постачаються користувачам в комплекті з програмним забезпеченням з закритим кодом, який входить в ціну пристрою, як Imotions. Таким чином, вибір пристрою для дослідження повинен урахувати комплектацію, яку надає кожен окремий виробник.

Також існують НКІ на стадії розробки або в стані бета-версії, які ми не можемо рекомендувати для підвищення ефективності навчання.

Одним з прикладів готових до використання пристроїв НКІ є мобільна гарнітура з навушниками Emotiv EROC X (див. рис. 2), розроблена для швидкого та легкого застосування у практичних дослідницьких програмах. Варто відмітити, що цей пристрій не призначений для клінічних цілей діагностики або лікування захворювань. Фактично в такого типу пристроях НКІ застосовується принцип біологічного зворотного зв'язку (БЗЗ), коли надання людині інформації про роботу її мозку дозволяє самій людині регулювати свій стан для його оптимізації.

На відміну від вищеописаних неінвазивних методів з БЗЗ, де сам клієнт регулює свій стан на основі поточної інформації, наступні методи включають активний зовнішній вплив, зокрема, електричний або магнітний.

Метод транскраніальної магнітної стимуляції (ТМС) застосовується в практичній неврологічній діагностиці, в галузі фундаментальних досліджень та як терапевтичний інструмент. При зміні амплітуди та частоти імпульсів ТМС призводить як до тормозних, так і до збуджуючих ефектів (Kloosterboer, 2019). Але механізм, що призводить

до реакції нейронів на повторювані імпульси, вивчений недостатньо для використання у навчанні. ТМС для покращення когнітивних функцій застосовується при неврологічних розладах (депресії, аутизм, захворювання Паркінсона або Альцгеймера). Ми не знайшли підтвердження того, що ТМС для підвищення навчання у здорових дорослих, можна використовувати самостійно користувачам без допомоги досвідчених фахівців. Тому поки рекомендувати ТМС в умовах мультизадачності ми не можемо.



Рис. 2. Мобільна гарнітура EEG Emotiv EPOC, 14-канальна

Для покращення різних когнітивних процесів (наприклад, мови) та підвищення їх ефективності у здорових дорослих можуть бути використані методи транскраніальної електричної стимуляції мозку (ТЕС) (Balboa-Bandeira, 2021).

Розглянемо використання ТЕС в поєднанні з ЕЕГ як найдоступніший неінвазивний метод реєстрації сигналів та впливу на стан головного мозку. ТЕС – фізіотерапевтичний метод, що являє собою невідчутну на шкірну електростимуляцію головного мозку шляхом накладення двох поверхневих електродів. В результаті відбувається виборча активація системи ендогенних опіоїдних пептидів мозку (ЕОП), зокрема бета-ендорфіну. Після 20 хвилин ТЕС фіксується підвищення його рівня в плазмі крові на 98%, в спинно-мозковій рідині на 219% (Gilula, 2005). Ефект носить пролонгований системний характер завдяки тому, що ЕОП регулює нейроімунноендокринну систему, що впливає не тільки на емоційну і фізіологічну, але і на когнітивну сфери. ТЕС впливає на лімбічну систему і гіпоталамус, має гомеостатичну спрямованість, пов'язану з дією ендорфінів, зниженням рівня кортизолу («гормону стресу») і підвищенням вироблення серотоніну на 200% в спинномозковій рідині через 20 хвилин ТЕС

(нейромедіатор, який надає заспокоючий ефект на психіку) (Gilula M. F., 2005). При мультизадачності та навчанні складним професійним навичкам, особливо з високим рівнем відповідальності або необхідністю швидкого реагування, такі впливи значно підвищують ефективність процесу обробки інформації та прийняття рішень.

За допомогою ЕЕГ може бути відслідкована дія ТЕС на картину ритмів ЕЕГ, їх синхронізацію та інші параметри. Електричні потенціали, що генеруються нейронами у відповідь на стимуляцію, є тими показниками, які деталізують інформацію щодо впливу ТЕС на мозок. Проаналізувавши усі вимоги, які пред'являються для проведення методів НКІ, метод ТЕС є найбільш доступним неінвазивним методом. Його доступність визначається простотою та економічністю використовуваних пристроїв (які дуже схожі на наведений на рис. 2) у порівнянні з пристроями, які використовують методи типу МРТ, що можуть проводитися лише стаціонарно та коштують значно дорожче.

При неклінічних дослідженнях НКІ основний акцент робиться на когнітивні процеси досліджуваних. При навчанні виходить на перший план посилення здібностей сприймати інформацію, обробляти її, структурувати, зберігати

і відтворювати, особливо в поєднанні з мультизадачністю. Оскільки будь-яке навчання формує новий досвід та нові навички, побічним чином використання НКІ приводить до розширення діапазону поведінки людини та розкриття її потенціалу в цілому.

Зокрема, дослідження після ТЕС активності мозку в діапазоні тета-ритму показали поліпшення робочої пам'яті досліджуваних (Reinhart, 2019). Робоча пам'ять забезпечує можливість комбінування сенсорних відчуттів з короткочасною і довготривалою пам'яттю, а також, збереження інформації, з якою людина працює. У дослідженнях, в яких погіршення робочої пам'яті співвідносили з десинхронізацією тета-ритмів і гамма-ритмів головного мозку, а не тільки з відмиранням нейронів (Reinhart, 2019), ТЕС протягом 25 хвилин показала ефект ресинхронізації ритмів на 50 хвилин, зафіксований на ЕЕГ і за результатами тестування досліджуваних. Вивчення впливу ТЕС за допомогою постійного струму при виконанні мультизадачної роботи показало підвищення концентрації уваги та продуктивності до 30% у діючих військових льотчиків ВПС США (Nelson, 2016). Але при всіх виявлених перевагах такої технології тривалість її ефектів ще недостатньо вивчена через новизну такого типу робіт.

Обговорення. Ми розглянули сучасні технології зчитування сигналів мозку та нервової системи людини для вивчення активності мозку та отримання зворотного зв'язку. На сьогодні існують варіанти непрямого зв'язку як то вимірювання кисню крові, методи томографії (комп'ютерна, позитронно-емісійна, магнітно-резонансна, функційна магнітно-резонансна), електроміографія (ЕМГ), окулографія тощо. Але ці методи для навчання не надають потрібної інформації, відносяться здебільшого до клінічних методів та показують суттєві зміни нормального функціонування мозку.

На відміну від вище зазначених методів, методи прямого зв'язку мають також і прикладне значення для розкриття потенціалу когнітивних функцій людини та допомоги при навчанні. Під прямим зв'язком ми маємо на увазі пряме вимірювання електричної активності, яку генерує мозок, наприклад, за методом ЕЕГ. Прямий зв'язок застосовується в технології НКІ, які поділяються на інвазивні (імпланти) та неінвазивні (транскраніальні). НКІ на базі методу ЕЕГ з кожним роком стають все більш доступними та простими у застосуванні. Завдяки НКІ наука отримала нові можливості вивчення та доцільного покращення когнітивних процесів, що залучені до мультизадачної діяльності.

Більшість сучасних технологій створено за образом біологічних прикладів, використовуючи аналогію з природними об'єктами, наприклад створення комп'ютерних нейронних мереж по аналогії з мозковими нейронними мережами, принцип успадкування, що використовується в об'єктно-орієнтованому програмуванні тощо. Серед наукових досліджень, індексованих основними наукометричними базами, присутній зовсім малий відсоток психологічних досліджень застосування НКІ. Значна більшість досліджень – з нейронаук, з комп'ютерних наук і штучного інтелекту та з галузі біомедичної інженерії. Абсолютна більшість наукових матеріалів щодо НКІ належить до вивчення технологічної сторони питання та розвитку нейромереж, але не людських, а комп'ютерних. Дослідженню впливу використання неінвазивного НКІ з ТЕС на стан та якість вищих психічних функцій людини приділяється небагато уваги. Має сенс продовжувати дослідження в напрямку лонгitudного вивчення домінуючих психологічних станів людини, яка застосовує мозкові інтерфейси для підвищення ефективності навчання.

Застосування НКІ, зокрема ТЕС в поєднанні з ЕЕГ, підвищує когнітивні здібності при навчанні, в тому числі з багатозадачною діяльністю. Це дозволяє аналізувати в реальному часі стан мозку того, хто навчається; визначати оптимальний обсяг робочого навантаження при навчанні; планувати обсяги навантаження і методи навчання в кожному конкретному випадку; впливати на стан ЦНС учня; впливати на активність нейронів, збільшуючи кількість синаптичних зв'язків і, як наслідок, точність і складність вирішуваних завдань. Побічні ефекти впливу на вищі психічні функції та на особистість людини поки не досліджені в достатньому обсязі, щоб рекомендувати або не рекомендувати застосування НКІ для широкого застосування у навчанні.

В перспективі, за умов доведення їх довготривалої безпечності, НКІ у поєднанні з ТЕС можуть застосовуватись не тільки для навчання складним професіям (наприклад, тренування пілотів або нейрохірургів), але і для людей звичайних професій. Під час активного переходу до цифрових технологій багато суспільних та побутових процесів переносяться у цифровий простір. Це призводить до постійного створення нових та трансформації вже наявних цифрових середовищ, які мають бути засвоєні користувачами відповідно до їх завдань життєдіяльності, що стає для більшості людей стресогенним чинником (Pfaffinger, 2019).

Висновки. Нами не знайдено статей, що вивчають пролонгований ефект технології НКІ на

психічний стан людини. Тому, в результаті нашого огляду ми доходимо висновку, що треба проводити довгострокові лонгітудні дослідження за допомогою НКІ на добровольцях з різних груп населення, що не мають протипоказань. Пропозиції щодо організації тривалих досліджень також можна висувати виробникам і продавцям такого обладнання, щоб вони збирали відгуки про ефекти застосування цих технологій, об'єднували невеликі вибірки до рівня репрезентативності та тримали з клієнтами постійний зворотний зв'язок.

Дослідження процесів мозкової активності, які на психофізіологічному рівні забезпечують можливість існування вищих психічних функцій, ще не пояснюють цілком механізми пізнавальних процесів. Завдяки НКІ, які являють собою системи, що забезпечують обмін інформацією між електронним пристроєм (наприклад, комп'ютером або смартфоном) та мозком людини в реальному часі, наука отримала нові можливості вивчення та доцільного покращення цих процесів. НКІ застосовують прямий зв'язок, тобто пряме вимірювання електричної активності, яку генерує мозок (наприклад, метод ЕЕГ), на відміну від непрямого зв'язку як то вимірювання кисню крові, функціональна резонансна томографія (фМРТ), функціональна інфрачервона спектроскопія (fNIRS), електроміографія (ЕМГ), окулографія тощо (Kawala-Sterniuk, 2021).

На сьогоднішній день оптимальним є використання методу ЕЕГ як бази для побудови пристроїв НКІ для цілей навчання та покращення діяльності, саме тому, що вони відповідають усім критеріям можливості прикладного використання: портативні, автоматизовані та часто вже налаштовані на контроль уваги, працездатності, засинання. Також вони можуть поєднуватися з принципом біологічного зворотного зв'язку і електростимуляції мозку, що ще більше підвищує їх потенціал.

Проаналізовані нами приклади показують, що сучасні пристрої НКІ є достатньо доступними як для практичних, так і для дослідницьких цілей. Їх можна поділити на декілька категорій. Перша категорія призначена для розваг та дозвілля, та представлена через ігрові пристрої, обладнання для прослуховування музики, для кіберспорту. Друга категорія призначена для релаксації та відновлення фізичного, психологічного та емоційного стану людини, наприклад, для сну, дихання, медитації тощо. Третя категорія призначена для покращення навчання. Четверта категорія призначена для наукових та маркетингових досліджень різного рівня, до чого належить і вивчення діяльності в особливих умовах, наприклад військова діяльність, авіація тощо.

Список використаних джерел

- Асеева Ю. Проблемні питання класифікації кіберадикцій. *Психологія і особистість*, 2 (18). 2020. <http://psychpersonality.pnpu.edu.ua/article/view/211910>
- Власенко Т., Позняк М. Діджиталізація в креативній індустрії для розвитку особистості. *Молодий вчений*, 10 (86). 2020. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-10-86-3>
- Balboa-Bandeira Y., Zubiaurre-Elorza L., Ibarretxe-Bilbao N., Ojeda N., Pena J. Effects of transcranial electrical stimulation techniques on second and foreign language learning enhancement in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *Neuropsychologia*, vol. 160. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.107985>
- Baxter B. S., Edelman B. J., Sohrabpour A., He B. Anodal Direct Current Increases Bilateral Directed Connectivity during Motor-Imagery Based – Control. *Frontiers in Neuroscience*, vol. 11. 2017. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00691>
- Browarska N., Stach T. System to Communicate Disabled People with Environment Using Brain-Computer Interfaces. *Biomedical Engineering and Neurosciences*. 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75025-5_14
- Browarska N., Stach T., Kawala-Janik A. Neuroheadset as a Control Device for Picture Script-Based Communicators. *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, 2018, 180-184. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896318308966?via%3Dihub>
- Gilula M. F., Kirsch D. L. Cranial Electrotherapy Stimulation Review: A Safer Alternative to Psychopharmaceuticals in the Treatment of Depression. *Journal of Neurotherapy*, Vol 9 No 2, 2005. https://doi.org/10.1300/J184v09n02_021
- Jamil N., Belkacem A.N., Ouhbi S, Lakas A. Noninvasive Electroencephalography Equipment for Assistive, Adaptive, and Rehabilitative Brain-Computer Interfaces: A Systematic Literature Review. *Sensors*. 2021. <https://doi.org/10.3390/s21144754>
- Jiang L., Stocco A., Losey D. M., Abernethy J. A., Prat C. S., Rao R. P. N. BrainNet: A Multi-Person Brain-to-Brain Interface for Direct Collaboration Between Brains. 2019. <https://arxiv.org/pdf/1809.08632.pdf>
- Kawala-Sterniuk A., Browarska N., Al-Bakri A., Pelc M., Zygarelicki J., Sidikova M., Martinek R., Gorzelanczyk E.J. Summary of over Fifty Years with Brain-Computer Interfaces—A Review. *Brain Sciences*. 2021. <https://doi.org/10.3390/brainsci11010043>
- Kennedy P. R., Bakay R. A. E., Moore M. M., Adams K., Goldwithe J., Direct control of a computer from the human central nervous system. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 198-202, 2000, <https://doi.org/10.1109/86.847815>
- Kloosterboer E., Funke K. Repetitive transcranial magnetic stimulation recovers cortical map plasticity induced by sensory deprivation due to deafferentation. *The Journal of Physiology* 597/15. 2019. <https://doi.org/10.1113/JP277507>

- Licklider J. C. R. Man-Computer Symbiosis. *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, vol. HFE-1, 1960. <http://groups.csail.mit.edu/medg/people/psz/Licklider.html>
- Musk E, Neuralink. An Integrated Brain-Machine Interface Platform With Thousands of Channels. *J Med Internet Res*. 2019. <https://doi.org/10.2196/16194>. <https://www.jmir.org/2019/10/e16194>
- Nelson J., McKinley R. A., Phillips C., McIntire L., Coodyear C., Kreiner A., Monforton L. The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Multitasking Throughput Capacity. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2016. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00589>
- Pfaffinger, K.F., Reif, J.A.M., Huber, A.K. *et al.* Digitalisation anxiety: development and validation of a new scale. *Discov Ment Health* 1, 3, 2021. <https://doi.org/10.1007/s44192-021-00003-w>
- Reinhart R., Nguyen J. Working memory revived in older adults by synchronizing rhythmic brain circuits. *Nature Neuroscience* 22. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41593-019-0371-x>
- Taylor S., Jaques N, Nosakhare E., Sano A and Picard R. Personalized Multitask Learning for Predicting Tomorrow's Mood, Stress, and Health. *IEEE Transactions on Affective Computing*, vol. 11, no. 2, pp. 200-213, 2020. <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2017.2784832>.

O. E. RONZHES (**Olena Yevgenievna Ronzhesh**)

Master of Psychology, Master of Economics,
graduate student of the Department of Applied Psychology
V.N. Karazin Kharkiv National University
4 Svobody Sq., Kharkiv, Ukraine, 61022

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF LEARNING WITH THE HELP OF NEUROCOMPUTER INTERFACE

The article considers modern technologies for reading signals from the human brain and nervous system and selects the optimal technology to improve the efficiency of adult learning with the help of a neurocomputer interface. Existing brain-computer interfaces (BCI) technologies can be divided into invasive and non-invasive. The first, invasive BCIs, are neuroimplants in certain parts of the brain that work on the basis of electrocorticography (ECOG) or intracranial EEG (iEEG) technology and do not require deep intervention in brain structures; or another invasive BCIs, based on intracortical recording technology using implants with electrodes placed in brain closer to the signal source, and required more complicate operation. The second, non-invasive BCI, reads signals from the brain and nervous system and is based on electroencephalogram (EEG). Compared to invasive BCIs with their more accurate signal, transcranial BCIs communicate with the brain through the skull bones, muscles, and all tissues. Their use does not require intervention in the human body. To increase the effectiveness of training, there was chosen a physiotherapeutic method of transcranial electrical stimulation (TES) in combination with a braincomputer interface based on electroencephalography (EEG), as the most accessible non-invasive method of exposure and feedback due to BCI without known side effects to mental functions and personality. The use of brain-computer interfaces, in particular transcranial electrical stimulation in combination with electroencephalography, increases cognitive abilities in learning, including multitasking. This method can also be used to increase the effectiveness of human assimilation of the necessary new digital environments and is used not only for training complex professions, but also for the masses. Side effects on higher mental functions and personality have not been sufficiently studied to recommend or avoid the use of neurocomputer interfaces for widespread use in education.

Keywords: neurocomputer interface, transcranial electrical stimulation, learning efficiency, EEG, multitasking.

References

- Asieieva, Yu. (2020). Problem questions of cyber-addictions classification. *Psychologia I osobististy*, 2(18). <http://psychpersonality.pnpu.edu.ua/article/view/211910> [in Ukrainian]
- Balboa-Bandeira, Y., Zubiaurre-Elorza, L., Ibarretxe-Bilbao, N., Ojeda, N., Pena, J. (2021). Effects of transcranial electrical stimulation techniques on second and foreign language learning enhancement in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *Neuropsychologia*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.107985>
- Baxter, B. S., Edelman, B. J., Sohrabpour, A., He, B. (2017). Anodal Direct Current Increases Bilateral Directed Connectivity during Motor-Imagery Based – Control. *Frontiers in Neuroscience*, 11. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2017.00691/full>
- Browarska, N., Stach, T. (2018). System to Communicate Disabled People with Environment Using Brain-Computer Interfaces. *Biomedical Engineering and Neuroscience*, 150-157. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75025-5_14
- Browarska, N., Stach, T., Kawala-Janik, A. (2018). Initial Study on Using Emotiv EPOC+. Neuroheadset as a Control Device for Picture Script-Based Communicators. *IFAC-PapersOnLine*, 51, 180-184. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.07.150>
- Gilula, M. F., Kirsch, D. L. (2005). Cranial Electrotherapy Stimulation Review: A Safer Alternative to Psychopharmaceuticals in the Treatment of Depression. *Journal of Neurotherapy*, 9. https://doi.org/10.1300/J184v09n02_02_1
- Jamil, N, Belkacem, AN, Ouhbi, S, Lakas, A. (2021) Noninvasive Electroencephalography Equipment for Assistive, Adaptive, and Rehabilitative Brain-Computer Interfaces: A Systematic Literature Review. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s21144754>
- Jiang, L., Stocco, A., Losey, D. M., Abernethy, J. A., Prat, C. S., Rao, R. P. N. (2019). BrainNet: A Multi-Person Brain-to-Brain Interface for Direct Collaboration Between Brains. <https://arxiv.org/pdf/1809.08632.pdf>
- Kawala-Sterniuk, A, Browarska, N, Al-Bakri, A, Pelc, M, Zygarlicki, J, Sidikova, M, Martinek, R, Gorzelanczyk, EJ. (2021). Summary of over Fifty Years with Brain-Computer Interfaces – A Review. *Brain Sciences*. <https://doi.org/10.3390/brainsci11010043>

-
- Kennedy, P. R., Bakay, R. A. E., Moore, M. M., Adams, K. and Goldwithe, J. (2000). Direct control of a computer from the human central nervous system. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 8(2), 198-202. <https://doi.org/10.1109/86.847815>
- Kloosterboer, E., Funke, K. (2019). Repetitive transcranial magnetic stimulation recovers cortical map plasticity induced by sensory deprivation due to deafferentation. *The Journal of Physiology* 597/15. <https://doi.org/10.1113/JP277507>
- Licklider, J. C. R. (1960). Man-Computer Symbiosis. *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, HFE-1. <http://groups.csail.mit.edu/medg/people/psz/Licklider.html>
- Musk, E, Neuralink (2019). An Integrated Brain-Machine Interface Platform With Thousands of Channels. *J Med Internet Res*. <https://www.jmir.org/2019/10/e16194>
- Nelson, J., McKinley, R. A., Phillips, C., McIntire, L., Coodyear, C., Kreiner, A., Monforton, L. (2016). The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Multitasking Throughput Capacity. *Frontiers in Human Neuroscience*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00589>
- Pfaffinger, K.F., Reif, J.A.M., Huber, A.K. et al. Digitalisation anxiety: development and validation of a new scale. *Discov Ment Health*, 1, 3 (2021). <https://doi.org/10.1007/s44192-021-00003-w>
- Reinhart, R., Nguyen, J. (2019). Working memory revived in older adults by synchronizing rhythmic brain circuits. *Nature Neuroscience* 22. <https://doi.org/10.1038/s41593-019-0371-x>
- Taylor, S., Jaques, N., Nosakhare, E., Sano, A, Picard, R. (2020). Personalized Multitask Learning for Predicting Tomorrow's Mood, Stress, and Health. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 11(2), 200-213. <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2017.2784832>
- Vlasenko, T., & Pozniak, M. (2020). Digitalisation in creative industry for skill development. *Molodiy Vcheniy*, 10 (86). <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-10-86-3> [in Ukrainian]

Стаття надійшла до редакції 10.05.2022 (The article was received by the Editorial office on 05.10.2022)

Стаття рекомендована до друку 18.06.2022 (The article is recommended for publication on 06.18.2022)
