

УДК 374

Нейродинамічна модель розвитку креативності педагогів закладів позашкільної освіти у середовищі професійної спільноти

Ю. Кеснер,

аспірантка кафедри професійно-педагогічної,
спеціальної освіти, андрагогіки та управління,
Житомирський державний університет імені Івана Франка,
м. Житомир

e-mail: Julia.kesner2020@gmail.com<https://orcid.org/0009-0003-3624-7654>

Анотація. У статті на основі систематизації 20 сучасних (2000–2025 рр.) нейронаукових досліджень обґрунтовано авторську нейродинамічну модель розвитку креативності педагогів закладів позашкільної освіти у середовищі професійної спільноти. Актуальність зумовлена тим, що педагогічна наука дотепер не інтегрувала емпіричні дані нейронауки про взаємодію префронтальної кори й лімбічної системи, а також дані міжперсональної (interbrain) нейронауки навчання, у поясненні механізмів розвитку креативності педагога під впливом професійного оточення.

Методологічну основу становлять аналіз, синтез, систематизація та порівняльний аналіз джерел, відібраних за критеріями рецензованості, кuartильності видання (SJR) та тематичної релевантності.

За результатами аналізу джерела систематизовано за чотирма тематичними кластерами: анатомо-функціональна основа взаємодії префронтальної кори й лімбічної системи (8 джерел); розвиток і стрес-зумовлена дизрегуляція цієї взаємодії (4 джерела); нейронні кореляти креативності, експертності та емоційної модуляції творчого процесу (6 джерел); міжперсональна (interbrain) нейронаука навчання й наставництва (2 джерела). Установлено, що креативність педагога забезпечується не окремою мозковою структурою, а динамічним балансом префронтального контролю та лімбічної (емоційно-мотиваційної) активності, який опосередковується рівнем стресу: експериментально доведено, що зниження стресового навантаження відновлює креативну продуктивність через посилення активації префронтальної кори. Окремо систематизовано дані про міжперсональну мозкову синхронізацію в педагогічній взаємодії: показано, що застосування стратегії «скафолдингу» супроводжується посиленням міжмозкової синхронізації, яка опосередковує засвоєння творчих умінь, а педагоги-експерти демонструють вищий рівень синхронізації з учнями порівняно з початківцями.

На основі синтезу цих даних обґрунтовано й графічно представлено авторську нейродинамічну модель, згідно з якою професійна спільнота педагогів

впливає на розвиток креативності через два паралельні механізми – зниження лімбічної (стресової) реактивності та посилення міжперсональної нейросинхронізації між колегами, що спільно сприяють гнучкішому балансу мереж контролюваного й спонтанного мислення. Запропоновано п'ятиетапний дизайн емпіричної верифікації моделі засобами гіперскануючої психофізіологічної діагностики (EEG/fNIRS) педагогічних колективів, а також сформульовано практичні рекомендації щодо зниження оцінного навантаження в методичній роботі та впровадження практик структурованого наставництва в межах професійної спільноти.

Ключові слова: креативність педагога, префронтальна кора, лімбічна система, професійна спільнота, міжперсональна нейросинхронізація, нейропедагогіка, позашкільна освіта, стрес і креативність

Y. Kesner,

PhD student at the Department of Professional Pedagogy,
Special Education, Andragogy and Management,
Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr
e-mail: Julia.kesner2020@gmail.com,
<https://orcid.org/0009-0003-3624-7654>

A Neurodynamic Model of Creativity Development Among Teachers of Out-of-school Education Institutions Within a Professional Community

Abstract. Drawing on a systematisation of 20 contemporary (2000–2025) neuroscience studies, the article substantiates an original neurodynamic model of creativity development among teachers of out-of-school education institutions within a professional community. The study's relevance stems from the fact that pedagogical science has not yet integrated neuroscience evidence on prefrontal cortex–limbic system interaction, nor interbrain neuroscience findings on teaching, into explanations of how a professional environment shapes teacher creativity.

The sources were systematised into four thematic clusters: the anatomo-functional basis of prefrontal-limbic interaction (8 sources); developmental and stress-related dysregulation of this interaction (4 sources); neural correlates of creativity, expertise, and emotional modulation of the creative process (6 sources); and interpersonal (interbrain) neuroscience of teaching and mentoring (2 sources). The analysis shows that teacher creativity is not localised to a single brain structure but arises from a dynamic balance between prefrontal control and limbic (emotional-motivational) activity, mediated by stress level; experimental evidence confirms that reducing stress restores creative productivity via enhanced prefrontal activation. Separately, interbrain synchronization data show that scaffolding strategies in teaching are accompanied by increased interbrain synchronization mediating the transfer of creative skills, and that expert teachers show higher synchronization with students than novices.

Building on this synthesis, the article proposes and visually represents an original neurodynamic model in which a teachers' professional community fosters creativity through two parallel mechanisms – reduced limbic (stress) reactivity and enhanced interpersonal neurosynchronization among colleagues – jointly supporting more flexible switching between controlled and spontaneous modes of thought. A five-stage design for empirical verification of the model using hyperscanning psychophysiological diagnostics (EEG/fNIRS) of teaching teams is proposed, along with practical recommendations for reducing evaluative load in methodological work and implementing structured mentoring practices within the professional community.

Keywords: teacher creativity, prefrontal cortex, limbic system, professional community, interbrain neurosynchronization, neuropedagogy, out-of-school education, stress and creativity.

Постановка проблеми. Дослідження розвитку креативності педагогів традиційно спираються на мотиваційні, діяльнісні та організаційно-педагогічні пояснювальні моделі, залишаючи поза увагою психофізіологічний рівень аналізу. Водночас нейронаука за останні двадцять п'ять років накопичила значний і методологічно різноплановий масив емпіричних даних – від класичних анатомічних досліджень префронтально-лімбічних контурів до новітніх гіперскануючих досліджень міжмозкової синхронізації в навчальній взаємодії, – який дотепер не був системно узагальнений і застосований до проблематики розвитку креативності педагогів саме закладів позашкільної освіти в умовах функціонування професійної спільноти.

Особливої актуальності це завдання набуває у зв'язку з появою першого покоління досліджень інтерперсональної (interbrain) нейронауки навчання, які показують, що педагогічна взаємодія має вимірювані нейронні кореляти (міжмозкову синхронізацію), однак дотепер ці дані застосовувалися виключно до діади «педагог – здобувач освіти» і жодного разу – до горизонтальної взаємодії педагогів між собою в межах професійної спільноти. Це формує чітко окреслену наукову прогалину, опрацювання якої є метою цієї статті.

Додатковим чинником, що актуалізує проблему, є специфіка професійної діяльності педагогів саме закладів позашкільної освіти: висока варіативність освітніх програм, відсутність жорсткого зовнішнього регламенту (на кшталт державного стандарту загальної середньої освіти), добровільність участі здобувачів і, відповідно, підвищена залежність результату педагогічної діяльності від творчої ініціативи самого педагога. Ці організаційні особливості створюють природний «дослідницький полігон» для вивчення зв'язку середовищних (професійна спільнота) і психофізіологічних (нейродинамічних) чинників креативності, оскільки педагог позашкілля, на відміну від учителя закладу загальної середньої освіти, вимушений постійно й самостійно генерувати оригінальний освітній контент, що робить його нейродинамічний профіль потенційно більш «пластичним» і чутливим до середовищних впливів.

Водночас практика професійного розвитку педагогів позашкілля в Україні дотепер спирається переважно на традиційні форми методичної роботи (методичні об'єднання, курси підвищення кваліфікації), ефективність яких

оцінюється виключно за зовнішніми, поведінковими показниками (кількість розроблених програм, участь у конкурсах тощо), без урахування можливих психофізіологічних механізмів, що опосередковують вплив цих форм роботи на творче мислення педагога. Інтеграція нейронаукових даних у розуміння цих механізмів може відкрити принципово новий напрям обґрунтування ефективності практик професійної спільноти – не лише на рівні спостережуваної поведінки, а й на рівні вимірюваних психофізіологічних кореляцій, що є предметом розгляду в цій статті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Систематизація опрацьованих джерел ($n = 20$) за тематичною спрямованістю дала змогу виокремити чотири кластери, кожен з яких розкриває самостійний, але взаємопов'язаний з іншими рівень аналізу нейробиологічних основ креативності педагога – від анатомічного субстрату до міжперсональної взаємодії.

1.1. Анатомо-функціональна основа взаємодії префронтальної кори і лімбічної системи.

R. Kovner, J. Oler та N. Kalin (2019) показали, що кортико-лімбічні контури – PFC, гіпокамп, амигдала – становлять субстрат адаптивних емоційних і поведінкових реакцій, дисфункція якого лежить в основі психопатології; особливого значення автори надають саме префронтально-лімбічним шляхам, оскільки вони забезпечують взаємодію емоційних, когнітивних процесів і процесів ухвалення рішень [12]. A. Arco та F. Mora (2009) на основі мікроін'єкційних і мікродіалізних досліджень встановили, що глутаматергічні проєкції PFC модулюють дофамінергічну й холінергічну активність у прилеглому ядрі, гіпокампі та амигдалі, забезпечуючи низхідний контроль над цілеспрямованою поведінкою; принципово важливим є висновок авторів про те, що зміни функціонування PFC, зумовлені як фізіологічною, так і середовищно зумовленою пластичністю, здатні змінювати характер усієї префронтально-лімбічної взаємодії [1]. H. Barbas (2000) деталізував анатомію цих зв'язків у приматів, показавши, що лімбічні префронтальні ділянки (орбітофронтальна й медіальна кора) отримують потужні проєкції від амигдали й пов'язані з іншими медіально-темпоральними структурами, тоді як латеральна PFC переважно здійснює зворотний, регулювальний вплив. Авторка окремо підкреслює, що інтеграція когнітивних, мнемонічних та емоційних процесів може порушуватися саме внаслідок роз'єднання цих зворотних шляхів [2]. P. Morgane, J. Galler та D. Mokler (2005) у ґрунтовному огляді представили лімбічну систему не як окрему анатомічну структуру, а як розподілену мережу взаємопов'язаних компонентів, що виконує функцію інтеграції емоційної обробки з регуляцією складних форм поведінки [15]. C. Salzman та S. Fusi (2010) на нейрофізіологічному рівні продемонстрували, що нейрони амигдали й PFC мають «сплетені» (entangled) репрезентації, кодуючи водночас когнітивні й емоційні параметри в єдиних динамічних мережах, що ставить під сумнів класичне протиставлення «емоційного» та «раціонального» мозку й натомість пропонує розглядати ментальні стани як континуум, а не дихотомію [16]. P. Stern (2001), узагальнюючи класичні експериментальні роботи, описав конкретний

нейрохімічний механізм: електрична стимуляція базолатерального ядра амигдали підвищує вивільнення глутамату в PFC і прилеглому ядрі, тоді як дофаміновий викид зростає виключно в PFC; за умови блокування глутаматергічної нейропередачі в PFC спостерігається компенсаторне зростання дофамінового вивільнення в прилеглому ядрі, що дає підстави інтерпретувати PFC як структуру, яка активно модулює (а не пасивно приймає) наслідки лімбічної активності [17]. N. Friedman та T. Robbins (2021) у масштабному психометричному й нейробіологічному огляді, що спирався на дослідження ушкоджень мозку, нейрохімічні та нейровізуалізаційні дані в різних видів, виокремили спільний і специфічні компоненти когнітивного контролю (гальмування реакцій, переключення установки, оновлення робочої пам'яті), реалізовані мережами PFC, і показали, що спільний компонент когнітивного контролю тісно пов'язаний із гальмуванням реакцій і водночас статистично відокремлений від показників загального інтелекту [6]. S. M. Brudzynski зі співавторами (2024) описали медіальну PFC як «адаптивний вузол» ухвалення рішень, що керує перемиканням між позитивним і негативним афектом під впливом висхідних мезолімбічних холінергічної (з латеродорсального тегментального ядра) та дофамінергічної (з вентральної тегментальної ділянки) систем, причому автори особливо наголошують на ролі частотно-специфічних коливань кіркової електричної активності (альфа- і дельта-ритмів) у модуляції синаптичної пластичності цього вузла [3].

Проміжний висновок за результатами аналізу першого кластера джерел: сучасна нейронаука остаточно відійшла від ієрархічної моделі «кора керує лімбічною системою» на користь моделі двобічної, реципрокної, нейрохімічно опосередкованої взаємодії, у якій PFC виконує функцію не придушення, а гнучкої модуляції лімбічної активності відповідно до контексту діяльності.

1.2. Розвиток і стрес-зумовлена дизрегуляція префронтально-лімбічної взаємодії: значення для проблематики професійного вигорання педагогів.

P. Eslinger, W. B. Marlowe та K. R. Biddle (2021) охарактеризували тривалий період дозрівання PFC упродовж дитинства й підліткового віку, упродовж якого під впливом генетичних програм та досвіду формуються виконавчі функції, соціальне пізнання, здатність до ухвалення рішень і довільна саморегуляція [4]. С. М. Goodpaster зі співавторами (2025) поглибили це розуміння, показавши, що медіальна PFC характеризується не просто тривалим, а «розширеним» (protracted) періодом розвитку, упродовж якого досвід безпосередньо «дає зворотний зв'язок» (feeds back) на нейронні контури, що формуються, дозволяючи особистості виробляти вікововідповідні реакції на середовище; водночас саме ця тривалість розвитку відкриває вікно вразливості, у межах якого несприятливий досвід (знехтування, жорстоке поводження) здатний змінити траєкторію розвитку фронтолімбічних контурів – особливо зв'язків медіальної PFC із базолатеральною амигдалою та прилеглим ядром, – спричиняючи тривожні й депресивні розлади, що характеризуються надмірним уникненням сприйнятих загроз і порушеною емоційною регуляцією [8]. D. Jobson

зі співавторами (2021) на основі узагальнення досліджень на гризунах, приматах і людях встановили, що медіальна PFC відіграє регулювальну роль у широкому спектрі когнітивних функцій (увага, гальмівний контроль, формування навичок, робоча, просторова й довготривала пам'ять) завдяки високій взаємопов'язаності з таламусом, амигдалою та гіпокампом, а порушення функціональної зв'язності медіальної PFC у межах мережі пасивного режиму роботи мозку є значущим біомаркером вікового когнітивного зниження, який передуює структурним патологічним змінам [11]. Принципове значення для розуміння оборотності стрес-зумовлених порушень має дослідження R. Hultman зі співавторами (2016): застосувавши методи хемогенетичної стимуляції (DREADDs) у поєднанні з реєстрацією електричної активності мозку на тваринних моделях, автори показали, що хронічний стрес дизрегулює повільну (slow-evolving) лімбічну динаміку, опосередковану PFC, спричиняючи стійкі емоційні порушення, однак штучна активація саме кола PFC-амигдала здатна відновити нормальну поведінку [9] – це дослідження є одним із найпереконливіших доказів принципової пластичності й потенційної керованості системи, яка визначає емоційне реагування.

Проміжний висновок за результатами аналізу другого кластера джерел: префронтально-лімбічна система зберігає високий рівень пластичності протягом усього дорослого життя, а її дизрегуляція під впливом хронічного стресу (що є прямою аналогією до синдрому професійного вигорання педагога) є принципово оборотною за умови цілеспрямованого зовнішнього втручання – цей висновок є ключовим теоретичним підґрунтям гіпотези статті про можливість позитивного впливу середовища професійної спільноти на нейродинаміку педагога.

1.3. Нейронні кореляти креативності, роль експертності та емоційної модуляції творчого процесу.

Класична трифакторна анатомічна модель А. Flaherty (2005), побудована на аналізі даних функціональної нейровізуалізації, фармакологічних досліджень і аналізу вогнищевих уражень мозку, пов'язує ідеогенез (idea generation) і творчу «драйвовість» (creative drive) із взаємодією трьох чинників: змін скроневих часток (які за певних умов, наприклад при гіперграфії, посилюють продукування ідей, іноді на шкоду їх якості), змін лобових часток (дефіцит яких знижує продукування ідей через надмірно ригідні судження про цінність ідеї) та мезолімбічного дофаміну, що впливає на новизно-пошукову поведінку. Авторка особливо підкреслює, що належний баланс між скроневою і лобовою активністю забезпечується взаємно гальмівними кортико-кортикальними взаємодіями [5]. S. Liu зі співавторами (2015), досліджуючи процес складання поезії в межах єдиного експерименту, що одночасно враховував процес, продукт і рівень експертності учасників, встановили, що медіальна PFC є активною на обох фазах творчого процесу – генерування та редагування, – тоді як активність дорсолатеральної префронтальної й тім'яної виконавчих систем є фазозалежною: під час генерування когнітивний контроль послаблюється, під час редагування – знову активується; педагоги-експерти демонстрували значно

сильнішу деактивацію цих виконавчих систем саме на етапі генерування, що свідчить про їхню здатність ефективніше «призупиняти» когнітивний контроль, хоча загалом і експерти, і новачки використовують подібні когнітивні ресурси; якість поезії, за оцінкою незалежних експертів, була пов'язана з різними патернами зв'язності в експертів і новачків – навколо медіальної PFC (технічна майстерність) і навколо дорсолатеральної PFC/тім'яної кори (інноваційність) [13]. М. J. McPherson зі співавторами (2016), досліджуючи фортепіанну імпровізацію професійних джазових музикантів у відповідь на емоційно забарвлені візуальні стимули, показали, що активність префронтальних і інших мереж, залучених у творчість, істотно модулюється емоційним контекстом, а емоційний намір безпосередньо змінює функціональну зв'язність лімбічних і паралімбічних структур – амігдали й острівцевої частки, – що емпірично підтверджує нерозривність емоційного й креативного процесів і дає підстави розглядати емоцію як первинний мотиватор творчої поведінки, а не побічний супровідний чинник [14]. Принципово важливим для обґрунтування гіпотези цієї статті є дослідження Y. Wang зі співавторами (2023), виконане на вибірці 90 жінок, випадково розподілених на три групи: індукція стресу з фіктивною (sham) стимуляцією, індукція стресу зі справжньою транскраніальною стимуляцією постійним струмом (анод над лівою, катод над правою дорсолатеральною PFC) та контрольне втручання з фіктивною стимуляцією. Результати засвідчили, що транскраніальна стимуляція знижувала поведінкові показники стресової реакції (частоту серцевих скорочень, рівень тривожності) і водночас усувала спричинене стресом порушення показників креативності за методикою альтернативного використання предметів, що підтверджувалося посиленою активацією дорсолатеральної й фронтополярної PFC та посиленою міжпівкульною й внутрішньопівкульною функціональною зв'язністю PFC за даними функціональної спектроскопії близького інфрачервоного діапазону [20] – це дослідження є першим прямим експериментальним доказом того, що штучне посилення регуляторної здатності PFC може повністю нейтралізувати негативний вплив стресу на творчу продуктивність. Н. Geng зі співавторами (2024), узагальнюючи дані резидентних і завданнево-орієнтованих нейровізуалізаційних досліджень мережевого підходу, розширили класичну двомережеву модель DMN–ECN, запропонували динамічну модель взаємодії мережі виконавчого контролю, мережі пасивного режиму та мережі значущості (salience network), а також розглянули роль нейронних осциляцій у різних частотних діапазонах і шляху блакитної плями (locus coeruleus-норадренергічного шляху) як комунікаційних механізмів, що забезпечують динамічну синергію великомасштабних мозкових мереж і, відповідно, гнучкість емоційно-когнітивної взаємодії [7]. Нарешті, М. Tzachrista зі співавторами (2023) в оглядовому дослідженні (охопило публікації 2016–2022 рр.) нейрокогнітивного профілю креативності дітей шкільного віку встановили значущий позитивний зв'язок креативності з академічною успішністю, зокрема в читанні, розумінні прочитаного та письмових завданнях, і показали, що асоціативне й дивергентне мислення, виконавчі функції та прогностичні

репрезентації (predictive representations) є ключовими нейрокогнітивними процесами, що визначають творчі характеристики особистості; автори експліцитно наголосили на важливості узгодження настанов і ставлення педагога із завданням цілеспрямованого розвитку креативності здобувачів освіти, а також на потребі глибшого розуміння педагогами нейрокогнітивних чинників творчого процесу [19], що є прямим і явним містком до педагогічної проблематики, порушеної в цій статті.

Проміжний висновок за результатами аналізу третього кластера джерел: креативність є емоційно вкоріненим, стрес-чутливим і принципово керованим психофізіологічним станом, ефективність якого визначається не рівнем, а гнучкістю префронтального контролю, а зниження стресового навантаження на PFC (незалежно від того, досягається воно фармакологічним, нейростимуляційним чи, гіпотетично, середовищним шляхом) є емпірично підтвердженим чинником відновлення творчої продуктивності.

1.4. Міжперсональна (interbrain) нейронаука навчання й наставництва.

Z. Jin зі співавторами (2024) провели гіперскануюче дослідження (одночасну реєстрацію електричної активності мозку двох осіб під час їхньої реальної взаємодії) з метою вивчення нейронних основ передавання творчих умінь. Автори встановили, що застосування стратегії «скафолдингу» – дозованої підтримки з поступовим, вивіреном передаванням самостійності учневі («навчити ловити рибу, а не дати рибу», за метафорою назви статті) – під час навчання творчості супроводжується статистично значущим посиленням міжмозкової (interbrain) синхронізації між тим, хто навчає, і тим, хто навчається, причому саме показник цієї синхронізації, а не окремі індивідуальні показники мозкової активності жодного з учасників, найточніше прогнозує подальше успішне засвоєння й перенесення (transfer) набутих креативних умінь на нові завдання [10]. Це дослідження є одним із перших прямих експериментальних доказів того, що творчість передається в навчальному процесі не лише через явний зміст (інструкції, приклади), а й через певний, вимірюваний нейронний резонанс між учасниками взаємодії. B. Sun зі співавторами (2019) порівняли поведінкові показники та міжперсональну мозкову синхронізацію педагогів-експертів і педагогів-початківців під час реальної навчальної співпраці зі здобувачами освіти й встановили, що педагоги-експерти демонструють не лише кращі поведінкові показники співпраці, а й вищий рівень міжперсональної мозкової синхронізації зі своїми учнями порівняно з педагогами-початківцями, що дає авторам підстави розглядати посилену інтерперсональну мозкову синхронізацію як потенційний нейронний маркер якості («експертності») педагогічної взаємодії, а не лише її поведінковий наслідок [18].

Проміжний висновок за результатами аналізу четвертого кластера джерел: педагогічна взаємодія – навіть у класичній діаді «педагог – здобувач освіти» – має вимірюваний міжперсональний нейронний субстрат, який опосередковує, а не просто супроводжує, передавання творчих умінь; водночас це явище дотепер жодного разу не досліджувалося стосовно горизонтальної,

рівностатусної взаємодії педагогів між собою – саме в цій прогалині, на перетині четвертого й другого кластерів, лежить оригінальна гіпотеза цієї статті.

Здійснений комплексний аналіз засвідчує, що, попри багатий і методологічно різноплановий масив нейронаукових даних щодо префронтально-лімбічної взаємодії, ролі стресу, експертності та міжперсональної синхронізації в педагогічній діяльності, жодне з опрацьованих досліджень не поєднало ці чотири напрями в межах єдиної теоретичної моделі, застосованої до розвитку креативності педагогів у середовищі професійної спільноти. Зокрема, дані про інтербрейн-синхронізацію [10; 18] дотепер обмежувалися вертикальною діадою «педагог – здобувач освіти» і не екстраполювалися на горизонтальну взаємодію педагогів між собою, а дані про оборотність стрес-зумовленої дизрегуляції префронтально-лімбічної системи [9; 20] дотепер не пов'язувалися дослідниками із середовищними, соціально-психологічними чинниками зниження стресу, до яких, за визначенням, належить психологічно безпечне середовище професійної спільноти.

Мета дослідження полягає в систематизації сучасних нейронаукових даних щодо префронтально-лімбічної та міжперсональної нейронної основи креативності й обґрунтуванні на цій основі авторської моделі впливу професійної спільноти педагогів на розвиток їхньої креативності.

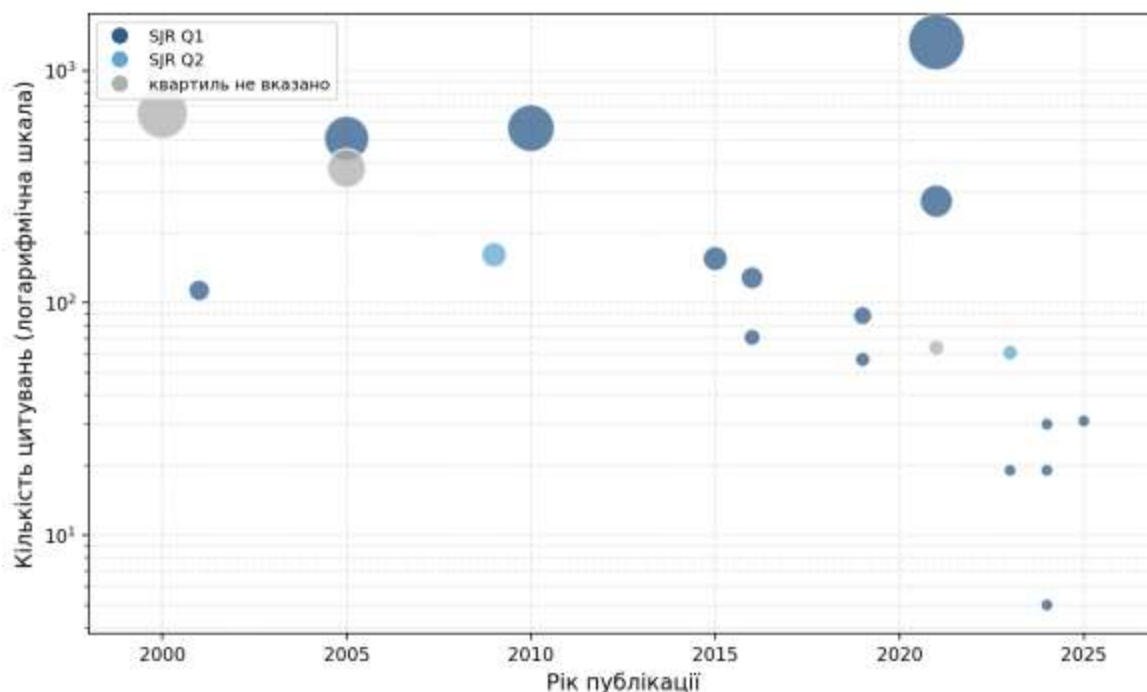
Завдання дослідження:

1. Систематизувати дослідження анатомо-функціональної основи взаємодії префронтальної кори й лімбічної системи.
2. Охарактеризувати дані щодо розвитку та стрес-зумовленої дизрегуляції цієї взаємодії в контексті професійного вигорання педагогів.
3. Систематизувати нейронні кореляти креативності, ролі експертності та емоційної модуляції творчого процесу.
4. Проаналізувати дані міжперсональної (interbrain) нейронауки навчання й обґрунтувати на цій основі гіпотезу про роль міжмозкової синхронізації педагогів у професійній спільноті для розвитку їхньої креативності.

Методологічну основу дослідження становлять загальнонаукові методи теоретичного аналізу (аналіз, синтез, систематизація, узагальнення), порівняльний метод, а також елементи бібліометричного аналізу (розподіл джерел за роком публікації, показником цитування та квантилем видання SJR) для характеристики опрацьованої доказової бази.

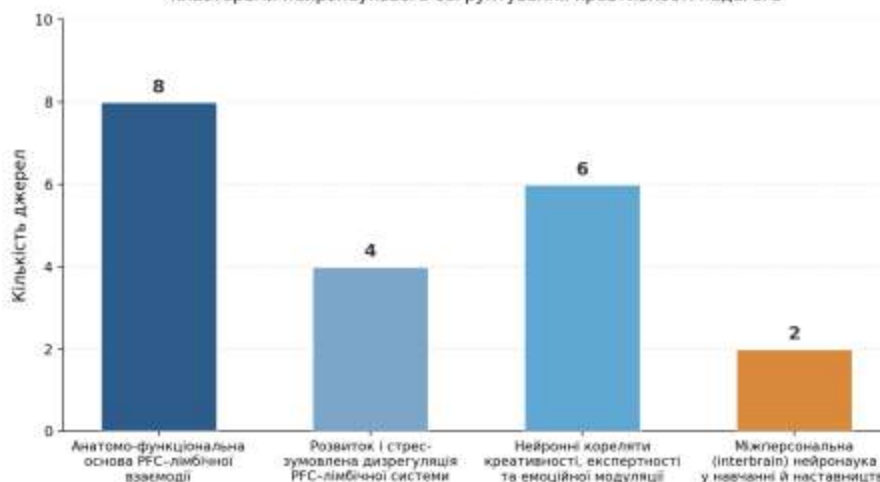
Результати дослідження. Опрацьована доказова база ($n = 20$ джерел) охоплює період 2000–2025 рр. і характеризується високим науковим рівнем видань: переважна більшість джерел опублікована у виданнях першого квантилю (SJR Q1). Хронологічний розподіл джерел і показники їх цитування представлені на рисунку 2.

Рис. 2. Хронологічний розподіл і науковий вплив проаналізованих джерел з нейронауки префронтально-лімбічної взаємодії (n = 20)



Розподіл проаналізованих джерел за чотирма тематичними кластерами представлено на рисунку 3: найчисельнішим є кластер анатомо-функціональної основи префронтально-лімбічної взаємодії (8 джерел), що відображає ґрунтовність теоретичного підґрунтя дослідження, тоді як кластер міжперсональної нейронауки (2 джерела) є найменш розробленим – саме ця обставина визначає наукову новизну гіпотези, обґрунтованої в цій статті.

Рис. 3. Розподіл проаналізованих джерел (n = 20) за тематичними кластерами нейронаукового обґрунтування креативності педагога



Систематизовані результати всіх опрацьованих джерел за кластерами й основними висновками представлено в таблиці 1.

Систематизація нейронаукових досліджень префронтально-лімбічної та міжперсональної основи креативності (2000–2025)*

№	Автори, рік [джерело]	Кластер	Основний результат
1	Arco, Mora, 2009 [1]	Анатомо-функціональна основа	PFC-глутаматергічні проєкції модулюють дофамінергічну й холінергічну активність у гіпокампі, амігдалі та прилеглому ядрі, забезпечуючи низхідний контроль над цілеспрямованою поведінкою
2	Barbas, 2000 [2]	Анатомо-функціональна основа	Лімбічні префронтальні кори (орбітофронтальна, медіальна) отримують потужні проєкції від амігдали й пов'язані з рештою PFC у зворотних і прямих інформаційних петлях
3	Brudzynski et al., 2024 [3]	Анатомо-функціональна основа	Медіальна PFC є «адаптивним вузлом» ухвалення рішень, що керує перемиканням між позитивним і негативним афектом під впливом висхідних мезолімбічних систем
4	Eslinger et al., 2021 [4]	Розвиток і стрес-дизрегуляція	PFC розвивається впродовж дитинства й підліткового віку, забезпечуючи виконавчі функції, соціальне пізнання та саморегуляцію
5	Flaherty, 2005 [5]	Креативність: нейронні кореляти	Трифакторна модель ідеогенезу: скроневі частки посилюють генерування ідей, лобові – здійснюють оцінний контроль; мезолімбічний дофамін визначає новизно-пошукову творчу «драйвовість»
6	Friedman, Robbins, 2021 [6]	Анатомо-функціональна основа	Когнітивний контроль має спільний і специфічні компоненти (гальмування, переключення, оновлення робочої пам'яті), реалізовані мережами PFC; його порушення пов'язані з психопатологією
7	Geng et al., 2024 [7]	Креативність: нейронні кореляти	Динамічна модель великомасштабних мозкових мереж (ECN, DMN, мережа значущості) пояснює гнучку взаємодію емоції та виконавчого контролю
8	Goodpaster et al., 2025 [8]	Розвиток і стрес-дизрегуляція	Несприятливий досвід у сенситивний період розвитку медіальної PFC змінює траєкторію дозрівання фронтолімбічних контурів, спричиняючи тривожність і депресію
9	Hultman et al., 2016 [9]	Розвиток і стрес-дизрегуляція	Хронічний стрес дизрегулює повільну лімбічну динаміку, опосередковану PFC; штучна активація кола PFC-амігдала (DREADDs) відновлює нормальну поведінку
10	Jin et al., 2024 [10]	Міжперсональна нейронаука	Стратегія «скафолдингу» у навчанні творчості супроводжується посиленням міжмозкової (interbrain) синхронізації, яка опосередковує засвоєння й перенесення креативних умінь
11	Jobson et al., 2021 [11]	Розвиток і стрес-дизрегуляція	Порушення функціональної зв'язності медіальної PFC у мережі пасивного режиму є потенційним біомаркером вікового когнітивного зниження
12	Kovner, Oler, Kalin, 2019 [12]	Анатомо-функціональна основа	Дисфункція кортико-лімбічних контурів (PFC–гіпокамп–амігдала) лежить в основі дезадаптивних емоційних реакцій і психопатології
13	Liu et al., 2015 [13]	Креативність: нейронні кореляти	Експерти демонструють сильнішу деактивацію DLPFC/IPS на етапі генерування творчого продукту (поезії), що свідчить про ефективніше тимчасове «призупинення» когнітивного контролю

14	McPherson et al., 2016 [14]	Креативність: нейронні кореляти	Емоційний намір безпосередньо модулює функціональну зв'язність лімбічних і паралімбічних структур (амигдала, острівцев) під час творчої імпровізації
15	Morgane, Galler, Mokler, 2005 [15]	Анатомо-функціональна основа	Лімбічна система функціонує як розподілена мережа взаємопов'язаних компонентів, що регулює емоційну обробку та складну поведінку
16	Salzman, Fusi, 2010 [16]	Анатомо-функціональна основа	Нейрони амигдали й PFC мають «сплетені» репрезентації – кодують водночас когнітивні й емоційні змінні в динамічних мережах
17	Stern, 2001 [17]	Анатомо-функціональна основа	PFC модулює наслідки активності амигдали, пригнічуючи дофаміновий викид у прилеглому ядрі, що впливає на цілеспрямовану поведінку
18	Sun et al., 2019 [18]	Міжперсональна нейронаука	Педагоги-експерти демонструють вищий рівень міжперсональної мозкової синхронізації зі здобувачами освіти під час співпраці порівняно з педагогами-початківцями
19	Tzachrista et al., 2023 [19]	Креативність: нейронні кореляти	Нейрокогнітивні процеси креативності (асоціативне й дивергентне мислення, виконавчі функції) позитивно пов'язані з академічною успішністю; наголошено на ролі настанов педагога
20	Wang et al., 2023 [20]	Креативність: нейронні кореляти	tDCS-стимуляція лівої DLPFC усуває спричинене стресом порушення креативності, посилюючи активацію та зв'язність PFC (за даними fNIRS)

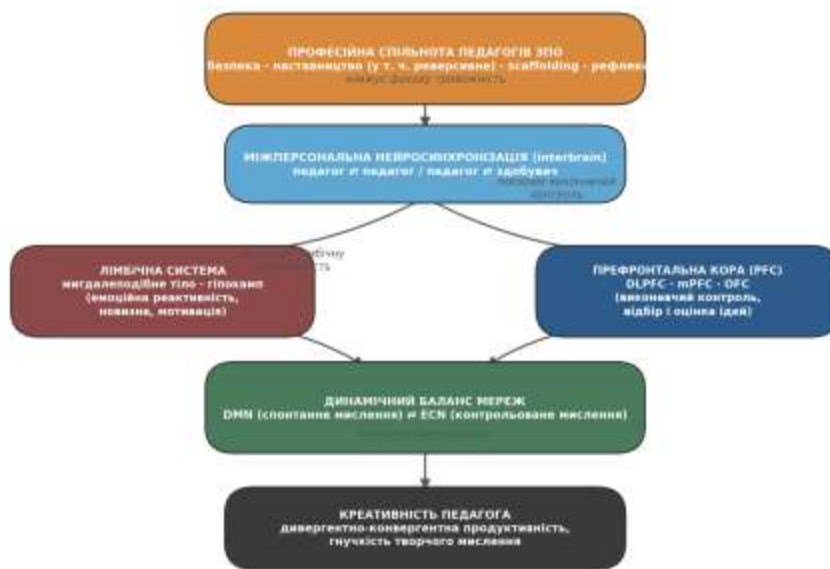
* Складено автором на основі аналізу джерел, зазначених у таблиці.

Узагальнення систематизованих даних дає підстави для трьох принципових висновків, покладених в основу авторської моделі. По-перше, префронтально-лімбічна взаємодія є не статичною ієрархією («кора контролює лімбічну систему»), а динамічним, оборотним і керованим балансом: стрес дизрегулює цей баланс на шкоду креативності [9; 20], тоді як його зниження (експериментально – через tDCS-стимуляцію PFC) відновлює творчу продуктивність [20]. По-друге, експертність асоціюється не з посиленням, а з ефективнішим тимчасовим послабленням префронтального контролю під час генерування ідей [13], що узгоджується з моделлю ідеогенезу А. Флаєрти, у якій оптимальний баланс скроневої (генеративної) та лобової (оцінної) активності є ключовим чинником творчої продуктивності [5]. По-третє, і це становить головну наукову новизну статті, педагогічна взаємодія має вимірюваний міжперсональний нейронний корелят: interbrain-синхронізація опосередковує засвоєння творчих умінь [10] і вища в педагогів-експертів [18], що дає підстави для екстраполяції цього механізму на взаємодію педагогів між собою в межах професійної спільноти.

На основі цього синтезу обґрунтовано й графічно представлено авторську нейродинамічну модель (рис. 1), згідно з якою професійна спільнота педагогів впливає на розвиток їхньої креативності через два паралельні, взаємопідсилювальні механізми. Перший механізм – зниження лімбічної (стресової) реактивності: психологічно безпечне середовище спільноти, за аналогією з експериментально доведеним ефектом зниження стресу на відновлення префронтальної активації [20], може опосередковано підтримувати оптимальний рівень активності амигдали, запобігаючи дизрегуляції фронтолімбічного балансу [9]. Другий механізм – міжперсональна

нейросинхронізація: практики наставництва, зокрема реверсивного, спільне планування, рефлексивний діалог у межах спільноти структурно подібні до взаємодії «педагог – здобувач освіти», для якої вже доведено зв'язок із міжмозковою синхронізацією [10; 18], що дає підстави для гіпотези про існування аналогічного механізму й у горизонтальній взаємодії педагогів. Обидва механізми, за гіпотезою, конвергентно впливають на динамічний баланс мереж контрольованого (ECN) і спонтанного (DMN) мислення, підвищуючи гнучкість перемикавання між ними – а отже, і рівень креативності педагога.

Рис. 1. Авторська нейродинамічна модель впливу професійної спільноти на розвиток креативності педагогів закладів позашкільної освіти



Обґрунтування двох механізмів моделі. Механізм 1 (зниження лімбічної реактивності) спирається на встановлений у другому кластері джерел факт принципової оборотності стрес-зумовленої дизрегуляції префронтально-лімбічної системи [9] та на прямий експериментальний доказ того, що зниження стресового навантаження відновлює креативну продуктивність через посилення активації й зв'язності PFC [20]. Гіпотетично, психологічно безпечне середовище професійної спільноти, у якому педагог не відчуває загрози оцінного судження з боку колег, має право на творчу помилку та отримує підтримку, а не критику, у відповідь на нестандартну ідею, може виконувати функцію, аналогічну експериментальному зниженню стресу в дослідженні Y. Wang зі співавторами [20], хоча й реалізовану не нейростимуляційним, а соціально-психологічним шляхом. Ключова відмінність такого середовищного механізму від фармакологічного чи стимуляційного полягає в його хронічній, а не одноразовій дії: систематична, тривала участь педагога в підтримувальній професійній спільноті теоретично може сприяти не ситуативному, а стійкому зсуву базового рівня лімбічної реактивності, за аналогією до того, як хронічний стрес призводить до стійкої, а не ситуативної дизрегуляції [8; 9].

Механізм 2 (міжперсональна нейросинхронізація) спирається на встановлений у четвертому кластері джерел факт, що інтербрейн-синхронізація опосередковує засвоєння творчих умінь у діаді «педагог – здобувач освіти» [10] і є вищою в педагогів-експертів [18]. Структурна подібність горизонтальної

взаємодії педагогів у межах професійної спільноти (спільне обговорення методичних рішень, наставництво, зокрема реверсивне, рефлексивний діалог за наслідками проведених занять) до вертикальної діади «педагог – здобувач освіти», для якої цей ефект уже емпірично доведено, дає підстави для гіпотези про існування аналогічного, хоча й поки що емпірично не підтвердженого, ефекту й у горизонтальній взаємодії педагогів-колег. Якщо ця гіпотеза підтвердиться, це означатиме, що креативний потенціал професійної спільноти не зводиться до суми індивідуальних креативних потенціалів її членів, а частково визначається якістю (ступенем нейросинхронізації) міжперсональної взаємодії всередині спільноти – висновок, що має принципове значення для розуміння механізмів колективної, а не лише індивідуальної креативності педагогічного колективу.

Дизайн емпіричної верифікації моделі.

Емпірична верифікація запропонованої моделі потребує застосування методу гіперскануючої нейровізуалізації (одночасної реєстрації мозкової активності кількох членів педагогічного колективу за допомогою портативної електроенцефалографії або функціональної спектроскопії ближнього інфрачервоного діапазону), що на сьогодні успішно апробовано в дослідженнях педагогічної взаємодії [10; 18] і є технічно придатним для застосування в природних умовах діяльності професійних спільнот педагогів закладів позашкільної освіти. Орієнтовний дизайн такого дослідження, що передбачає послідовне поєднання індивідуальної та парної (гіперскануючої) діагностики до і після цілеспрямованої інтервенції у формі структурованого наставництва й спільних творчих практик, представлено на рисунку 4.

Рис. 4. Пропонований дизайн емпіричної верифікації нейродинамічної моделі (гіперскануюче психофізіологічне дослідження педагогічних колективів ЗПО)



Запропонований дизайн передбачає порівняння двох ключових показників до і після восьмижневої інтервенції: по-перше, індивідуальних показників зв'язності DMN–ECN педагога під час виконання дивергентних творчих завдань поза контекстом взаємодії (етапи 2 і 5), що дає змогу перевірити гіпотезу про зсув базового нейродинамічного балансу; по-друге, показників парної (interbrain) синхронізації педагогів-колег під час реальної наставницької та рефлексивної взаємодії (етап 3, що у разі потреби повторюється на етапі 5), що дає змогу перевірити гіпотезу про зв'язок міжперсональної синхронізації з подальшою індивідуальною і колективною креативною продуктивністю.

Практичні рекомендації, що впливають із запропонованої моделі.

Навіть до завершення повної емпіричної верифікації, запропонована модель дає підстави для низки практично орієнтованих рекомендацій щодо організації професійної спільноти педагогів закладів позашкільної освіти. По-перше, доцільним є цілеспрямоване зниження оцінного (стресогенного) навантаження в межах методичних заходів – заміна форматів контрольного оцінювання методичних розробок форматами безоцінного обговорення й «безпечного експериментування», за аналогією з висновком про відновлювальний ефект зниження стресу на креативну продуктивність [20]. По-друге, доцільним є цілеспрямоване впровадження практик структурованого наставництва (у тому числі реверсивного) і спільного планування занять у малих групах (2–3 педагоги), що, за аналогією з дослідженням стратегії скафолдингу [10], потенційно створює умови для посиленої міжперсональної нейросинхронізації. По-третє, зважаючи на встановлений зв'язок між експертністю педагога та рівнем interbrain-синхронізації [18], доцільним є цілеспрямоване залучення досвідчених педагогів до ролі фасилітаторів творчих обговорень у межах спільноти, а не лише до традиційної ролі контролюючих методистів.

Слід зазначити, що представлена модель має статус теоретично обґрунтованої, але емпірично поки що не верифікованої гіпотези: жодне з проаналізованих 20 джерел не досліджувало безпосередньо педагогів закладів позашкільної освіти, а дані щодо interbrain-синхронізації отримані на вибірках, що не охоплюють горизонтальну взаємодію педагогів-колег. Крім того, більшість джерел кластерів 1–3 виконані на неклінічних або клінічних вибірках поза межами педагогічної діяльності, що вимагає обережності при екстраполяції висновків на педагогічну популяцію та обумовлює необхідність спеціально спланованого емпіричного дослідження, дизайн якого запропоновано на рисунку 4.

Висновки. Здійснена систематизація 20 сучасних нейронаукових джерел (2000–2025 рр.) дала змогу вперше об'єднати чотири раніше розрізнені напрями нейронаукових досліджень – анатоμο-функціональну основу префронтально-лімбічної взаємодії, розвиток і стрес-зумовлену дизрегуляцію цієї взаємодії, нейронні кореляти креативності й експертності, а також міжперсональну (interbrain) нейронауку навчання – у єдину пояснювальну рамку, застосовану до проблематики розвитку креативності педагогів закладів позашкільної освіти.

Встановлено, що креативність педагога забезпечується динамічним, стрес-чутливим балансом префронтального контролю й лімбічної активності, а педагогічна взаємодія має вимірюваний міжперсональний нейронний корелят – interbrain-синхронізацію, яка дотепер досліджувалася виключно в діаді «педагог – здобувач освіти».

Наукову новизну статті становить обґрунтована на основі цього синтезу авторська нейродинамічна модель, згідно з якою професійна спільнота педагогів сприяє розвитку їхньої креативності через два паралельні механізми – зниження лімбічної стресової реактивності та посилення міжперсональної

нейросинхронізації між колегами, – що раніше не порушувалося в педагогічній науковій літературі.

Обґрунтовано два взаємопідсилювальні механізми, через які професійна спільнота гіпотетично впливає на нейродинаміку креативності педагога: механізм зниження лімбічної (стресової) реактивності, що спирається на доведену оборотність стрес-зумовленої дизрегуляції префронтально-лімбічної системи [8; 9] та експериментально підтверджений відновлювальний ефект зниження стресу на креативну продуктивність через посилення активності PFC [20], і механізм міжперсональної нейросинхронізації, що спирається на доведений зв'язок interbrain-синхронізації із засвоєнням творчих умінь і рівнем педагогічної експертності [10; 18]. Запропоновано орієнтовний дизайн емпіричної верифікації моделі засобами гіперскануючої психофізіологічної діагностики педагогічних колективів, що включає 5 послідовних етапів – від формування вибірки до порівняльного аналізу показників до і після цілеспрямованої інтервенції.

Сформульовано практичні рекомендації для організації професійної спільноти педагогів закладів позашкільної освіти, що впливають із запропонованої моделі навіть до її повної емпіричної верифікації: зниження оцінного навантаження в методичній роботі, впровадження практик структурованого (у тому числі реверсивного) наставництва в малих групах та залучення досвідчених педагогів до ролі фасилітаторів, а не лише контролерів творчих обговорень.

Перспективи подальших досліджень полягають у практичній реалізації запропонованого дизайну гіперскануючого психофізіологічного дослідження педагогічних колективів закладів позашкільної освіти з різним рівнем розвитку професійної спільноти; в емпіричній перевірці зв'язку показників interbrain-синхронізації педагогів-колег із рівнем їхньої індивідуальної та колективної креативності; у порівняльному лонгітюдному дослідженні динаміки нейродинамічного балансу DMN–ECN педагогів упродовж їхнього професійного становлення; а також у розробленні й апробації методичних рекомендацій щодо цілеспрямованого формування психологічно безпечного середовища професійної спільноти як опосередкованого психофізіологічного чинника розвитку креативності педагогічних кадрів позашкільної освіти.

Список використаних джерел та літератури

1. Arco A., Mora F. Neurotransmitters and prefrontal cortex–limbic system interactions: implications for plasticity and psychiatric disorders. *Journal of Neural Transmission*. 2009. Vol. 116. P. 941–952. DOI: 10.1007/s00702-009-0243-8
2. Barbas H. Connections underlying the synthesis of cognition, memory, and emotion in primate prefrontal cortices. *Brain Research Bulletin*. 2000. Vol. 52 (5). P. 319–330.
3. Brudzynski S. M., Burgdorf J., Moskal J. R. From emotional arousal to executive action. Role of the prefrontal cortex. *Brain Structure & Function*. 2024. DOI: 10.1007/s00429-024-02837-w

4. Eslinger P., Marlowe W. B., Biddle K. R. Development of Prefrontal Cortex. *Encyclopedia of Behavioral Neuroscience*. 2nd ed. 2021. DOI: 10.1016/b978-0-12-819641-0.00071-2
5. Flaherty A. Frontotemporal and dopaminergic control of idea generation and creative drive. *Journal of Comparative Neurology*. 2005. Vol. 493(1). P. 147–153. DOI: 10.1002/cne.20768
6. Friedman N., Robbins T. The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*. 2021. DOI: 10.1038/s41386-021-01132-0
7. Geng H., Xu P., Aleman A., Qin S., Luo Y. Dynamic organization of large-scale functional brain networks supports interactions between emotion and executive control. *Neuroscience Bulletin*. 2024. DOI: 10.1007/s12264-023-01168-w
8. Goodpaster C. M., Christensen C. R., Alturki M.-B., DeNardo L. A. Prefrontal cortex development and its implications in mental illness. *Neuropsychopharmacology*. 2025. DOI: 10.1038/s41386-025-02154-8
9. Hultman R., Mague S., Li Q. et al. Dysregulation of prefrontal cortex-mediated slow evolving limbic dynamics drives stress-induced emotional pathology. *Neuron*. 2016. DOI: 10.1016/j.neuron.2016.05.038
10. Jin Z., Yin J., Pan Y., Zhang Y., Li Y., Xu X., Luo J. Teach a man to fish: Hyper-brain evidence on scaffolding strategy enhancing creativity acquisition and transfer. *NeuroImage*. 2024. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2024.120757
11. Jobson D., Hase Y., Clarkson A., Kalaria R. The role of the medial prefrontal cortex in cognition, ageing and dementia. *Brain Communications*. 2021. DOI: 10.1093/braincomms/fcab125
12. Kovner R., Oler J., Kalin N. Cortico-Limbic Interactions Mediate Adaptive and Maladaptive Responses Relevant to Psychopathology. *The American Journal of Psychiatry*. 2019. DOI: 10.1176/appi.ajp.2019.19101064
13. Liu S., Erkkinen M. G., Healey M., Xu Y., Swett K., Chow H., Braun A. Brain activity and connectivity during poetry composition: Toward a multi-dimensional model of the creative process. *Human Brain Mapping*. 2015. DOI: 10.1002/hbm.22849
14. McPherson M. J., Barrett F., López-González M., Jiradejvong P., Limb C. Emotional intent modulates the neural substrates of creativity: An fMRI study of emotionally targeted improvisation in jazz musicians. *Scientific Reports*. 2016. DOI: 10.1038/srep18460
15. Morgane P., Galler J., Mokler D. A review of systems and networks of the limbic forebrain/limbic midbrain. *Progress in Neurobiology*. 2005. DOI: 10.1016/j.pneurobio.2005.01.001
16. Salzman C., Fusi S. Emotion, cognition, and mental state representation in amygdala and prefrontal cortex. *Annual Review of Neuroscience*. 2010. DOI: 10.1146/annurev.neuro.051508.135256
17. Stern P. Emotion, Cognition, and Behavior. *Science*. 2001. Vol. 291(5508). P. 1449. DOI: 10.1126/science.291.5508.1449e

18. Sun B., Xiao W., Feng X., Shao Y., Zhang W., Li W. Behavioral and brain synchronization differences between expert and novice teachers when collaborating with students. *Brain and Cognition*. 2019. DOI: 10.1016/j.bandc.2019.105513
19. Tzachrista M., Gkintoni E., Halkiopoulou C. Neurocognitive Profile of Creativity in Improving Academic Performance – A Scoping Review. *Education Sciences*. 2023. Vol. 13(11). Article 1127. DOI: 10.3390/educsci13111127
20. Wang Y., Zhang J., Li Y., Qi S., Zhang F., Ball L., Duan H. Preventing prefrontal dysfunction by tDCS modulates stress-induced creativity impairment in women: an fNIRS study. *Cerebral Cortex*. 2023. DOI: 10.1093/cercor/bhad301

References:

1. Arco, A., & Mora, F. (2009). Neurotransmitters and prefrontal cortex–limbic system interactions: implications for plasticity and psychiatric disorders. *Journal of Neural Transmission*, 116, 941–952. <https://doi.org/10.1007/s00702-009-0243-8>
2. Barbas, H. (2000). Connections underlying the synthesis of cognition, memory, and emotion in primate prefrontal cortices. *Brain Research Bulletin*, 52(5), 319–330.
3. Brudzynski, S. M., Burgdorf, J., & Moskal, J. R. (2024). From emotional arousal to executive action. Role of the prefrontal cortex. *Brain Structure & Function*. <https://doi.org/10.1007/s00429-024-02837-w>
4. Eslinger, P., Marlowe, W. B., & Biddle, K. R. (2021). Development of prefrontal cortex. In *Encyclopedia of Behavioral Neuroscience* (2nd ed.). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819641-0.00071-2>
5. Flaherty, A. (2005). Frontotemporal and dopaminergic control of idea generation and creative drive. *Journal of Comparative Neurology*, 493(1), 147–153. <https://doi.org/10.1002/cne.20768>
6. Friedman, N., & Robbins, T. (2021). The role of prefrontal cortex in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01132-0>
7. Geng, H., Xu, P., Aleman, A., Qin, S., & Luo, Y. (2024). Dynamic organization of large-scale functional brain networks supports interactions between emotion and executive control. *Neuroscience Bulletin*. <https://doi.org/10.1007/s12264-023-01168-w>
8. Goodpaster, C. M., Christensen, C. R., Alturki, M.-B., & DeNardo, L. A. (2025). Prefrontal cortex development and its implications in mental illness. *Neuropsychopharmacology*. <https://doi.org/10.1038/s41386-025-02154-8>
9. Hultman, R., Mague, S., Li, Q., et al. (2016). Dysregulation of prefrontal cortex-mediated slow evolving limbic dynamics drives stress-induced emotional pathology. *Neuron*. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.05.038>
10. Jin, Z., Yin, J., Pan, Y., Zhang, Y., Li, Y., Xu, X., & Luo, J. (2024). Teach a man to fish: Hyper-brain evidence on scaffolding strategy enhancing creativity acquisition and transfer. *NeuroImage*. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2024.120757>

11. Jobson, D., Hase, Y., Clarkson, A., & Kalaria, R. (2021). The role of the medial prefrontal cortex in cognition, ageing and dementia. *Brain Communications*. <https://doi.org/10.1093/braincomms/fcab125>
12. Kovner, R., Oler, J., & Kalin, N. (2019). Cortico-limbic interactions mediate adaptive and maladaptive responses relevant to psychopathology. *The American Journal of Psychiatry*. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2019.19101064>
13. Liu, S., Erkkinen, M. G., Healey, M., Xu, Y., Swett, K., Chow, H., & Braun, A. (2015). Brain activity and connectivity during poetry composition: Toward a multi-dimensional model of the creative process. *Human Brain Mapping*. <https://doi.org/10.1002/hbm.22849>
14. McPherson, M. J., Barrett, F., López-González, M., Jiradejvong, P., & Limb, C. (2016). Emotional intent modulates the neural substrates of creativity: An fMRI study of emotionally targeted improvisation in jazz musicians. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/srep18460>
15. Morgane, P., Galler, J., & Mokler, D. (2005). A review of systems and networks of the limbic forebrain/limbic midbrain. *Progress in Neurobiology*. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2005.01.001>
16. Salzman, C., & Fusi, S. (2010). Emotion, cognition, and mental state representation in amygdala and prefrontal cortex. *Annual Review of Neuroscience*. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.051508.135256>
17. Stern, P. (2001). Emotion, cognition, and behavior. *Science*, 291(5508), 1449. <https://doi.org/10.1126/science.291.5508.1449e>
18. Sun, B., Xiao, W., Feng, X., Shao, Y., Zhang, W., & Li, W. (2019). Behavioral and brain synchronization differences between expert and novice teachers when collaborating with students. *Brain and Cognition*. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2019.105513>
19. Tzachrista, M., Gkintoni, E., & Halkiopoulos, C. (2023). Neurocognitive profile of creativity in improving academic performance – A scoping review. *Education Sciences*, 13(11), 1127. <https://doi.org/10.3390/educsci13111127>
20. Wang, Y., Zhang, J., Li, Y., Qi, S., Zhang, F., Ball, L., & Duan, H. (2023). Preventing prefrontal dysfunction by tDCS modulates stress-induced creativity impairment in women: an fNIRS study. *Cerebral Cortex*. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhad301>