

Современные тренды развития нейронаучных исследований в образовании¹

Марина Храмова, Александр Храмов,
Александр Федоров

Статья поступила
в редакцию
в январе 2023 г.

Храмова Марина Викторовна — кандидат педагогических наук, директор Высшей школы психологии и образования, Балтийский федеральный университет им. И. Канта. E-mail: mkhramova1@kantiana.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6392-4580>

Храмов Александр Евгеньевич — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Балтийского центра нейротехнологий и искусственного интеллекта, Балтийский федеральный университет им. И. Канта. Адрес: Калининград, 236041, ул. Александра Невского, д. 14. E-mail: aekhramov@kantiana.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2787-2530> (контактное лицо для переписки)

Федоров Александр Александрович — доктор философских наук, ректор Балтийского федерального университета им. И. Канта. E-mail: alafedorov@kantiana.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5501-3149>

Аннотация

Современная нейронаука делает значительные успехи в изучении функций мозга. Результаты нейронаучных исследований потенциально полезны для практики образования, однако современные нейронаучные данные о том, как мозг обучается, не находят применения в учебных аудиториях. Авторы задаются вопросом: что могут сделать ученые в области нейронауки, психологи и педагоги для выстраивания взаимодействия нейронауки с образованием?

В статье рассматриваются основные положения образовательной нейронауки как междисциплинарной области исследований на стыке нейробиологии, педагогики и когнитивной науки, которая стремится внедрить результаты исследований о нейронных механизмах обучения в образовательную практику и оценить влияние образования на мозг обучающегося. Описаны истоки и современный прогресс нейронауки в образовании, обсуждается терминологическая неопределенность в российской научной литературе, посвященной взаимосвязи нейронауки и образования, а также возможные и наиболее перспективные пути взаимодействия психологии, педагогики и нейронауки. Проведен наукометрический анализ основных направлений исследований в области взаимодействия нейронауки с образованием на основе базы данных научной литературы *Scopus*.

¹ Ряд тезисов данной статьи был изложен А.Е. Храмовым в пленарном докладе на V международном форуме *Cognitive Neuroscience 2022* (Уральский федеральный университет, Екатеринбург, 9–10 декабря 2022 г.), а также в докладе на симпозиуме «Нейронауки и образование: наводим мосты» в рамках конгресса «Устойчивое развитие образования. Миссия. Трансформации. Ресурсы» (Балтийский федеральный университет, Калининград, 18–22 апреля 2023 г.).

Ключевые слова нейронаука в образовании, педагогика, психология, нейровизуализация, нейродидактика, интерфейсы «мозг — компьютер», биомаркеры, когнитивная нейронаука, функциональные сети мозга

Для цитирования Храмова М.В., Храмов А.Е., Федоров А.А. (2023) Современные тренды развития нейронаучных исследований в образовании. *Вопросы образования / Educational Studies Moscow*, № 4, сс. 275–316. <https://doi.org/10.17323/vo-2023-16701>

Current Trends in the Development of Neuroscientific Research in Education

Marina Khramova, Alexander Hramov, Alexander Fedorov

Marina V. Khramova — Candidate of Sciences in Pedagogy, Director of the Higher School of Psychology and Education, Immanuel Kant Baltic Federal University. E-mail: mkhramova1@kantiana.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6392-4580>

Alexander E. Hramov — Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Chief Researcher at the Baltic Center for Neurotechnology and Artificial Intelligence, Immanuel Kant Baltic Federal University. Address: Kaliningrad 236041, 14, Alexander Nevsky St. E-mail: aekhramov@kantiana.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2787-2530> (corresponding author).

Alexander A. Fedorov — Doctor of Sciences in Philosophy, Rector of the Immanuel Kant Baltic Federal University. E-mail: alafedorov@kantiana.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5501-3149>

Abstract Modern neuroscience is making significant progress in the study of brain functions, which can be of great importance for the education. However, there is a gap between current neuroscientific evidence on how the brain learns and its direct application in classrooms. What can neuroscientists, psychologists, and educators do to improve the interaction between neuroscience and education? In this article, we attempt to answer this question by examining the essentials of educational neuroscience as an interdisciplinary field of research at the intersection of neuroscience, pedagogy, and cognitive science, which seeks to translate research on the neural mechanisms of learning into educational practice and understand the impact of education on the learner's brain. In the first part of the article we describe the origins and current progress of neuroscience in education, discuss terminological uncertainty in the Russian scientific literature on the relationship between neuroscience and education, as well as possible and, in our opinion, most promising ways of interaction between psychology, pedagogy and neuroscience. In the second part of the article we analyze the main directions of contemporary research in the field of neuroscience, based on the Scopus database of scientific information.

Keywords neuroscience in education, pedagogy, psychology, neuroimaging, neurodidactics, brain-computer interfaces, biomarkers, cognitive neuroscience, functional brain networks

For citing Khramova M.V., Hramov A.E., Fedorov A.A. (2023) Sovremennye trendy razvitiya neyronauchnykh issledovaniy v obrazovanii [Current Trends in the Development of Neuroscientific Research in Education]. *Voprosy obrazovaniya / Educational Studies Moscow*, no 4, pp. 275 –316. <https://doi.org/10.17323/vo-2023-16701>

Нейронаука в образовании — это междисциплинарная область исследований на стыке нейробиологии, педагогики и когнитивной науки, она стремится привнести данные о нейронных механизмах обучения в образовательную практику и оценить влияние образования на мозг обучающегося. Одна из целей, стоящих перед этой новой областью исследований, — преодолеть разрыв между растущим объемом знаний о фундаментальных механизмах обучения, получаемых когнитивной наукой и нейробиологией, и применением этих знаний в образовательной среде [Goswami, 2006; Костромина и др., 2015]. Такие исследования вносят вклад в создание нейробиологического базиса в гуманитарных науках наряду с последними работами в области контроля эмоций, принятия решений, эмпатии и т.д. [Kedia et al., 2017; Lăzăroiu et al., 2017]. Такого рода исследования ведутся в области экономики [Krueger, Meyer-Lindenberg, 2019], юриспруденции [Chandler, Harrel, Potkonjak, 2019] и даже философии [De Brigard, Sinnott-Armstrong, 2022]. Нейронаука в образовании также изучает изменения в функционировании мозга вследствие получения образования и нейробиологические механизмы преобразования поведения посредством обучения и воспитания [Thomas, Ansari, Knowland, 2019].

Возможность использования знаний, полученных нейронаукой, в повседневной учебной и методической работе до сих пор является предметом дискуссий. Скептики высказывают сомнения в актуальности таких знаний для образовательной практики [Hirsh-Pasek, Bruer, 2007; Howard-Jones, 2014; Clement, Lovat, 2015; Han, Soyulu, Anchan, 2019]. Однако мы полагаем, что накопленный сегодня объем знаний о нейробиологических основах обучения достаточен для того, чтобы обсуждать их прикладные аспекты и перспективы использования нейронауки в целях совершенствования методик обучения и образования в целом. Здесь уместна аналогия с развитием медицины как научного направления. Два века назад медицина была не более чем набором отрывочных эмпирических данных, заблуждений и просто шарлатанства, те, кто ею занимался, не имели научных сведений об устройстве организма и биологических механизмах возникновения болезней. Даже в XIX в. медицина все еще пребывала в зачаточном состоянии, поскольку многие базовые направления исследований, такие как клеточная патология, микробиология, фармакология, не говоря уже о генетике, едва ли существовали в то время как области научных исследований. Но сама идея о медицине как прикладной науке, возникшая в середине XIX в., стимулировала ее беспрецедентно быстрое развитие: в этот период были сделаны первые шаги к разработке концепции превращения медицины в прикладную естественнонаучную дисциплину. Фундаментом ее развития стал научный метод, который позволил построить здание современной медицины и создать процедуры и инструмента-

рий, которые существенно улучшили качество медицинских услуг. Аналогичным образом сейчас мы можем попробовать изменить образование, используя экспериментально доказанные нейробиологические факты и теории.

Данные нейробиологии — это именно то, что, на наш взгляд, необходимо для прогресса в образовании. Как построить процесс обучения наиболее эффективно? Правильный ответ на этот вопрос можно найти, только опираясь на результаты исследований в когнитивной нейронауке. Нейронаука может стать для образования тем же, чем биология является для медицины, а физика — для робототехники. Одних только знаний биологии недостаточно, чтобы вылечить пациента, а знаний физики — чтобы сконструировать робота. Но ни в медицине, ни в робототехнике нельзя реализовать проекты, противоречащие законам биологии или физики. Применительно к образовательным проектам нейронаука, основываясь на знаниях о законах работы мозга, предупредит нас о многих ограничениях и исключит многие потенциальные решения как заведомо неудачные или неверные, и она же подскажет правильный путь, соответствующий механизмам деятельности мозга.

Мы выполнили широкий обзор исследований, представляющих интерес с точки зрения взаимодействия нейронауки и образования. Нашей целью было показать, какую роль нейронаука может сыграть в образовании, оценить прогресс в области образовательной нейронауки и рассмотреть основные проблемы и перспективы данного направления исследований.

В первом разделе статьи обсуждается терминологическая неопределенность, сложившаяся в российском сегменте исследований взаимосвязи нейронаук и образования, и определяются термины, которые мы будем использовать в данной работе. Во втором разделе рассматривается развитие нейронаучных исследований в образовании в исторической перспективе. В третьем разделе анализируются пути взаимодействия психологии, педагогики и нейронауки, в четвертом — целый ряд проблем, с которыми сталкиваются практики при попытках применения нейронаучных знаний в образовании. В пятом разделе представлены основные направления современных нейронаучных исследований, значимых для практики образования, в шестом — ряд ключевых исследований в этой области в период 2000–2022 гг. В заключении подведены итоги проведенного анализа и сформулированы рекомендации по проведению нейронаучных исследований в российском образовании.

1. Терминологическая неопределенность

В российском сегменте исследований в области взаимосвязи нейронаук и образования существует терминологическая неопределенность. Такое положение естественно для нового направления научных исследований, а многочисленность определе-

ний — а точнее, попыток сформулировать авторское понимание предмета исследований — подтверждает актуальность проблемы. По нашему мнению, поиски определений соответствующей предметной области идут в трех направлениях: «переводческом», популистском и содержательном.

За рубежом исследованиями применения когнитивных нейронаук в образовании занимаются такие отрасли науки, как *educational neuroscience* и *neuroscience in education*. В российской литературе им соответствуют термины «нейронауки в образовании», «образовательная нейронаука», «нейрообразование». Четкое определение этой дисциплины пока не сформулировано, она выделена на основании области исследований: изучение нейробиологических механизмов обучения [Бажанов, Шкурко, 2018]. Трактовка образовательной нейронауки только с позиций нейробиологии задает односторонний подход в ее развитии, тем не менее у «переводческого» определения предметной области нейронауки есть сторонники.

Говоря о популистском определении, мы хотим обратить внимание на то, что приставку «нейро» в последнее время широко используют применительно к разделам педагогической науки и смежным областям знания: отсюда увеличение числа публикаций по нейропсихологии, нейропедагогике, нейрообучению, нейродидактике, нейрометодике, нейрообразованию, образовательной нейронауке и т.д. Зачастую такая терминология не означает обогащения содержания предметной области и продиктована либо коммерческими соображениями, либо желанием «научкообразить» или сделать модным психолого-педагогическое исследование.

Перспективы взаимодействия нейронаук и образования, безусловно, связаны с содержательным определением соответствующей предметной области. Именно оно сейчас и набирает обороты. Происходит осмысление новой терминологии, наполнение ее по содержанию и структуре: исследователи выясняют, в чем разница между нейродидактикой и нейропедагогикой [Мальсагов, Лезина, 2021; Клемантович, Леванова, Степанов, 2016], где точки соприкосновения между нейропедагогикой и нейропсихологией, какова суть нейродидактического подхода [Куликова, 2014], почему те или иные образовательные технологии стали относить к нейротехнологиям [Зеер, 2021]?

2. История развития нейронаучных исследований в образовании

На важность понимания нейробиологических основ работы мозга для педагогики одним из первых указал Э.Л. Торндайк в начале XX в. [Thorndike, 1913]. Актуальность междисциплинарного обмена между биологией и образовательной наукой отмечалась на протяжении всего XX в., но прорыв произошел только в начале XXI в.,

когда значительные достижения в области нейротехнологий, в первую очередь появление возможностей нейровизуализации с использованием относительно недорогих портативных устройств на базе электроэнцефалографии [Xu, Zhong, 2018] и функциональной ближней инфракрасной спектроскопии [Brockington et al., 2018], позволили исследовать мозг при решении человеком повседневных когнитивных задач [Davidesco et al., 2021]. Под нейровизуализацией в современной нейробиологии понимается совокупность методов, позволяющих визуализировать структуру, функции и биохимические характеристики мозга [Filler, 2010; Tiki-dji-Hamburyan, Kropat, Weber, 2020].

Знания, полученные нейронаукой, стали активно привлекаться к решению образовательных проблем [Hille, 2011; Bruce et al., 2017; Williamson, 2019], ученые во всем мире исследуют связи между нейронаукой и образованием, в том числе в контексте дистанционного обучения [Doukakis, Alexopoulos, 2021; Dimitropoulos, Mystakidis, Fragkaki, 2022]. Возникают профильные научные сообщества. В 2004 г. основано международное общество «Разум, мозг и образование» (*International Mind, Brain and Education Society*, IMBES²). В 2009 г. в рамках Европейской ассоциации исследований в области обучения и преподавания (*European Association for Research on Learning and Instruction*, EARLI) образована отдельная тематическая группа «Нейронаука и образование» для обсуждения вопросов нейрообразования и нейропедагогической практики. С появлением нового научного направления возникают новые специализированные научные журналы. Наиболее авторитетным изданием в области взаимодействия нейронаук с образованием являются *Trends in Neuroscience and Education*, первый номер журнала вышел в 2012 г. в издательстве *Elsevier*. В настоящее время этот журнал по системе ранжирования научных публикаций *Scimago*, основанной на базе научной информации *Scopus*, входит в первый квартиль периодических изданий по педагогике и во второй — по когнитивной нейронауке. С 2007 г. издательство *Wiley* выпускает журнал *Mind, Brain and Education*, принадлежащий ко второму квартилю изданий по педагогическим наукам и нейропсихологии. Статьи, относящиеся к новому направлению исследований, активно публикуют и такие классические нейрофизиологические журналы, как *Cognitive Development*, *Brain and Cognition*, *Computers & Education*, *Computers in Human Behavior*, *Developmental Cognitive Neuroscience*. Растет популярность курсов магистратуры по нейропедагогике и нейропсихологии как в ведущих университетах, таких как Гарвард, Педагогический колледж Колумбийского университета, Лондонский и Бристольский университеты, Университет Эдинбурга, Университет Савойи

² www.imbes.org

Монблан, так и в крупных университетах развивающихся стран — в Международном университете Ла-Риохи (Мексика), Университете Новой Англии (Австралия), Университетском центре Асунсьона (Бразилия). В Российской Федерации программы подготовки кадров в области нейрообразования и исследователей возможностей приложения нейронауки в образовании активно развивают Балтийский федеральный университет им. И. Канта и Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, положения нейронаук активно внедряются в курсы педагогических магистратур, например, в Высшей школе экономики.

Тем не менее говорить, что новое направление принято всеми учеными как в области нейронауки, так и в области психологии и педагогики, было бы преждевременно. Так, в 1997 г. вышла работа проф. Дж. Бруера с говорящим само за себя названием «Образование и мозг: до моста слишком далеко» (*Education and the Brain: A Bridge Too Far*) [Bruer, 1997], а спустя 25 лет проф. Г. Лейсман [Leisman, 2023] буквально повторил эту фразу в заголовке своей статьи: мост между образованием и нейронаукой, по его мнению, еще только предстоит построить. Очевидно, что внедрение результатов нейронаучных исследований в практику образования является сложной задачей, и попытки ее решить иногда бывают неудачны в силу неразвитости соответствующей научной методологии [Sigman et al., 2014]. Непосредственное использование таких знаний в практике преподавания и обучения невозможно в силу специфики сбора эмпирических данных в фундаментальной нейронауке, которая работает в весьма жестко построенных парадигмах, исключающих множество факторов и требующих контроля факторов, которые невозможно исключить. Продиктованные научным методом жесткие условия, в которых получены данные нейронауки, создают барьеры в их применении в школьной и студенческой аудитории [Sigman et al., 2014; Feiler, Stabio, 2018; Zull, 2020]. Более того, существует риск создания образовательных технологий на основе неточных или даже ложных нейрофизиологических данных [Willingham, 2009; Frith, 2013]. Иногда этот риск может возрасти в силу энтузиазма педагогов, не обладающих точными знаниями о том, как работает мозг, и приверженных так называемым нейромифам в образовании [Tardif, Doudin, Meylan, 2015]), а также в результате стремления коммерческих компаний продавать школам и университетам новые продукты, в которых использованы последние результаты нейронауки без их должной проверки и строгого научного обоснования [Brookman-Byrne, Thomas, 2018; Thomas, Ansari, Knowland, 2019]. Кроме того, взаимодействие психологии, нейронауки и педагогики нередко оборачивается конкуренцией, а не сотрудничеством, поэтому исследователи в области образования с некоторым опасением относятся к тому, что они называют «шумихой вокруг нейронауки»,

полагая, что в этой области пока намного больше программных заявлений, чем конкретных экспериментальных работ, дающих полезные сведения о закономерностях преподавания и обучения.

3. Взаимодействие психологии, педагогики и нейронауки

Психология и образование имеют долгую историю плодотворного взаимодействия, и ряд ученых считают, что данных, полученных в психологических исследованиях, достаточно для формирования научно обоснованных педагогических концепций (например, [Bowers, 2016a]). Однако чисто психологического подхода может оказаться недостаточно для построения современных педагогических теорий. Действительно, педагогика через обучение и воспитание влияет на поведение обучаемых. В основе психологических теорий, создаваемых для объяснения и прогнозирования наблюдаемого поведения, лежат экспериментально выявляемые механизмы причинно-следственных связей. Начиная с работ Л.С. Выготского, педагогическая психология предполагает анализ развития высших психических функций, таких как воображение, память, мышление, внимание и т.д. [Выготский, 1934]. Психология изучает поведение, в то время как нейронаука — механизмы работы мозга, лежащие в основе поведения. Российские и зарубежные педагоги и психологи пытались учитывать нейропсихологические данные о специфике обработки человеком различных типов информации в процессе обучения [Bernacki, Walkington, 2018; Bulger, 2016; Степанов, 2020]. В настоящее время успехи нейронауки расширяют возможности обогащения педагогических подходов знаниями, полученными из непосредственного исследования механизмов работы мозга. Более того, чисто психологические теории, не основанные на данных о биофизической и/или биохимической природе процессов обучения, могут оказаться ошибочными, поскольку предполагают существование механизмов, которые не могут быть реализованы мозгом в процессе обучения [Mareschal et al., 2007].

Практика обучения выдвигает перед каждым человеком вопросы, на которые психология не способна дать ответ. Например, почему я могу забыть, какой город является столицей Гватемалы, но никогда не забуду про свои фобии? Почему я лучше усваиваю новый материал после хорошего сна? Почему в десять лет мне было гораздо легче выучить новый язык, чем в пятьдесят?

Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо знать закономерности работы человеческого мозга, т.е. объединить результаты нейробиологических исследований, значимые для практики обучения, с психологическими и педагогическими теориями. Современные психологические теории обучения не учитывают целый ряд данных, полученных нейронаукой.

Во-первых, «трансфер» навыков организован сложнее, чем предполагает когнитивная теория: механизм переноса не являет-

ся общим для всех видов научения, мозг использует конкретные схемы для конкретных навыков [Sala, Fernand, 2017]. Так, когнитивная наука считает многие когнитивные механизмы, такие как рабочая память, долговременная память, внимание и когнитивный контроль, общими и универсальными. Однако это не всегда так. Если человек тренируется на конкретной задаче, вовлекающей общий механизм, например рабочую память, его производительность обычно улучшается. Можно было бы ожидать, что преимущества, полученные в ходе такого обучения, будут наблюдаться в широком спектре других задач, которые задействуют тот же общий механизм. Однако такой «трансфер» наблюдается крайне редко: у обучаемых, как правило, улучшается только способность к решению задач, аналогичных тем, на которых они тренируются [Alloway, Alloway, 2014]. Ребенок с нарушениями памяти будет испытывать трудности с запоминанием списка инструкций, которые нужно выполнить, набора движений, которые нужно воспроизвести, или последовательности цифр, и учителя могут скорректировать учебную среду в классе, чтобы уменьшить эти трудности [Ibid.]. Однако нет оснований ожидать, что тренировка рабочей памяти приведет к общему улучшению разных способностей [Simons et al., 2016; Stojanoski et al., 2021].

Во-вторых, есть ряд поведенческих реакций, которые нельзя предсказать, исходя из психологических теорий: например, почему способность учиться меняется с возрастом или почему мы забываем информацию в определенной манере, зависящей от конкретных знаний?

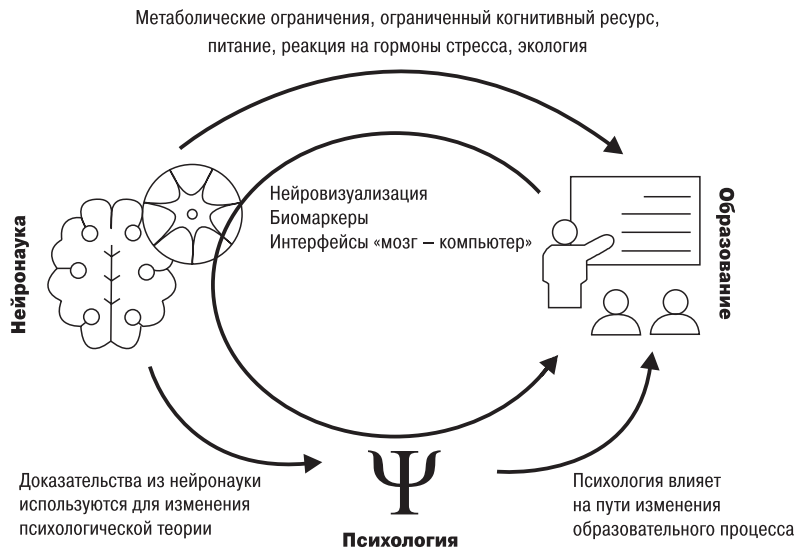
В-третьих, психологические теории не учитывают влияние режима дня, физической активности, расписания занятий на эффективность обучения. Например, ограничение продолжительности ночного сна подростков шестью часами оказывает заметное влияние на их когнитивные показатели — внимание, память и т.д. [Lo et al., 2016].

В-четвертых, революцию в современной когнитивной науке произвела концепция функциональных сетей мозга, и она может найти применение при построении педагогических теорий [Park, Friston, 2013]. Функциональная сеть мозга отражает связность областей головного мозга при реализации тех или иных когнитивных функций. Интерес к функциональным сетям мозга у специалистов в области нейронауки связан с необходимостью объяснить богатую функциональность мозга при фиксированной структуре анатомических связей (коннектома). Топология функциональных связей между областями мозга динамически формируется и перестраивается при решении когнитивных задач, функционировании рабочей памяти, обработке сенсорной информации и т.д. [Храмов и др., 2021a]. Вопреки существующей традиции связывать те или иные конкретные когнитивные процессы с некоторой

областью мозга в рамках концепции функциональных сетей доказано, что мозг характеризуется многочисленными отношениями «многие к одному» (где многие когнитивные процессы связаны с одной и той же областью мозга) и «один ко многим» (где один когнитивный процесс связан с несколькими областями мозга). И хотя конкретная реализация тех или иных когнитивных процессов на уровне центральной нервной системы — не предмет изучения для педагогов, знания о специфике протекания этих процессов становятся значимыми в контексте образования, если концепции обучения входят в противоречие с выявленными картами активации областей мозга. Например, если учителя считают, что внимание — это единый когнитивный процесс концентрации на актуальной задаче, они могут ожидать, что определенные виды поведения будут развиваться вместе и поддаваться тренировке вместе. Однако исследования показывают, что в обеспечение внимания вовлечены многочисленные области мозга — а значит, внимание представляет собой кластер перекрывающихся механизмов, которые включают ориентацию на действие, восходящие и нисходящие потоки информации при восприятии и обработке стимула, устойчивое удержание поставленной задачи [Petersen, Posner, 2012; Храмов и др., 2021b]. Эти механизмы могут развиваться неравномерно, приводя к неожиданному с точки зрения психологии и педагогики отрицательному для ученика результату обучения [Thomas et al., 2019].

На рис. 1 представлены возможные схемы взаимодействия нейронауки, психологии и образования. Верхняя стрелка — это непосредственное влияние нейронаучных знаний на образование, учет базовых закономерностей функционирования мозга при обучении. Нижняя стрелка — двухступенчатое влияние нейронауки сначала на психологические теории, а далее через психологию на педагогические парадигмы и методики. Стрелка в середине рисунка — наиболее продвинутый путь интерактивного взаимодействия и индивидуализации образовательной траектории через нейротехнологии (интерфейсы «мозг — компьютер»). С одной стороны, теоретические достижения когнитивной нейронауки будут быстрее внедряться в практику обучения и воспитания, если наука об образовании будет тесно связана с нейронаукой через психологические концепции, раскрывающие возможные механизмы работы когнитивной системы при обучении (нижняя стрелка на рис. 1, двухступенчатое взаимодействие) [Beauchamp, Beauchamp, 2013; Howard-Jones et al., 2016; Feiler, Stabio, 2018; Thomas et al., 2019]. Такой подход требует, чтобы данные нейронауки использовались для модификации психологической теории, а не просто для демонстрации того, как мозг «реализует» текущую когнитивную теорию при обучении, т.е. данные из нейробиологии должны стать основанием для изменения пси-

Рис. 1. **Взаимодействие нейронауки, психологии и образования**



психологической теории, которая, в свою очередь, предлагает пути преобразования образовательного процесса.

С другой стороны, мозг является сложной «электрохимической машиной» — а следовательно, подвержен определенным метаболическим ограничениям. Такие факторы, как питание, выработка гормонов стресса, загрязнение окружающей среды, потенциально могут влиять на работу мозга, включая обучение, через нейроглиальные взаимодействия [Donaldson et al., 2005]. Поэтому исследование и учет влияния на результаты обучения непсихологических факторов, таких как режим отдыха и сна [Jiang et al., 2011], спортивная подготовка [Ruiz-Ariza et al., 2017], диета [Thomas, 2013], экология [Sunyer et al., 2015], также составляют предмет образовательной нейронауки. Знания об этих закономерностях функционирования мозга могут быть напрямую использованы для корректировки условий образовательного процесса (верхняя стрелка на рис. 1) [Thomas et al., 2019].

Оба эти подхода к организации взаимодействия образования с нейронаукой отводят образованию пассивную роль: психология и нейронаука оказывают значительное влияние на педагогический процесс, в то время как обратного воздействия нет. На наш взгляд, нейротехнологии в настоящее время достигли таких успехов, что существует возможность реализовать образовательные системы с различными видами обратной связи, в том числе и на базе нейроинтерфейсов [Hramov, Maksimenko, Pisarchik, 2021]. Нейроинтерфейс — это программно-аппаратный комплекс для обеспечения функциональной взаимосвязи между мозгом и

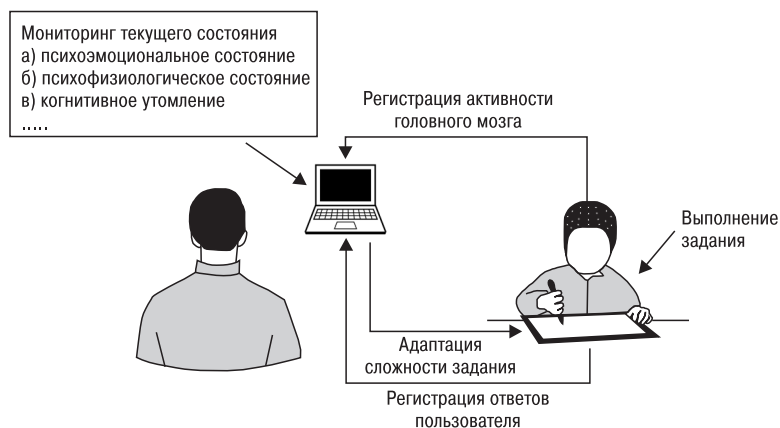
компьютером, т.е. для прямого соединения вычислительных интеллектуальных систем управления с центральной или периферийной нервной системой [Hramov, Maksimenko, Pisarchik, 2021]. Актуальной тенденцией развития науки об образовании и педагогике являются решения, основанные на данных. Цифровизация и, как следствие, накопление больших данных создают возможность использовать методы анализа таких данных на базе технологий искусственного интеллекта в самых разных областях человеческой деятельности. Пионерами внедрения таких технологий стали наиболее критические области человеческой деятельности — безопасность, промышленность, информационные технологии; с некоторым опозданием цифровизация проникла в медицину. Образование и педагогика сильно отстают от выше-названных областей, но и здесь в последние годы важную роль в принятии решения о перспективной траектории обучения и развития обучающегося играет его цифровой след [Другова и др., 2022]. Однако в педагогике для персонализации образования недостаточно только накопленных педагогических и психологических данных. Так же как в медицине врачу кроме истории болезни пациента необходимы сведения о его текущем состоянии в виде результатов анализов, тестов, функциональных проб, различных визуализаций (рентген, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография и т.д.), и в образовании определенная настройка системы обратных связей для повышения эффективности и индивидуализации процесса обучения возможна путем выявления различных биомаркеров состояния обучающегося (как психологических, так и нейрофизиологических, измеряемых с помощью ЭЭГ).

Как можно реализовать такую настройку? Нами [Куркин и др., 2020] создана интеллектуальная система для контроля и коррективки процесса обучения младших школьников на базе интерфейса «мозг — компьютер». Функциональная схема этой системы включает три основных блока (рис. 2):

- портативный электроэнцефалограф — прибор для регистрации сигналов электрической активности мозга, отводимых с поверхности кожи головы учащегося в процессе решения когнитивных задач [Soufineyestani, Dowling, Khan, 2020] (необходимый элемент нейроинтерфейса для получения информации об активности мозга);
- планшет с разработанной электронной образовательной средой (ЭОС). ЭОС, интерфейс которой выполнен в игровой форме, обеспечивает взаимодействие школьника с интеллектуальной системой с помощью планшета, решение предлагаемых задач, изучение предлагаемого учебного материала или восприятие сопутствующей информации;

- управляющий компьютер (лэптоп) с программным модулем для считывания и первичной обработки данных ЭЭГ, поступающих с электроэнцефалографа, и программным модулем системы управления, который обрабатывает всю поступающую информацию, контролирует эффективность учебного процесса и разрабатывает стратегию его коррекции.

Рис. 2. **Общая схема системы для контроля и корректировки процесса обучения младших школьников на базе нейроинтерфейса «мозг — компьютер»** [Куркин и др., 2020]



Система управления, как показано на рис. 2, реализуется в рамках трех основных потоков информации:

- данные ЭЭГ по беспроводному каналу связи передаются на управляющий компьютер (в программный модуль для считывания данных ЭЭГ, а затем в программный модуль системы управления), где они анализируются на предмет ЭЭГ-биомаркеров, позволяющих отслеживать концентрацию внимания, состояние стресса, успешность выполнения задач и т.д.;
- результаты тестирования ученика передаются с планшета, на котором реализована ЭОС, на управляющий компьютер, в программный модуль системы управления. В качестве результатов могут рассматриваться как правильность и скорость решения, так и время реакции, количество ошибок и любые другие поведенческие характеристики; для передачи данных используется беспроводной канал связи;
- петля обратной связи в виде управляющих команд, передаваемых по беспроводному каналу от программного модуля системы управления к планшету с ЭОС. Обратная связь необходима для корректировки заданий и учебного материала

(их уровня сложности, типа, времени отдыха и других параметров), предлагаемых младшему школьнику через ЭОС. Система управления определяет направление изменения параметров задания на основе анализа поступающей информации (ЭЭГ-биомаркеры и качество решения поставленных задач) по оригинальным алгоритмам.

Такая система реализует непосредственное «включение» нейроинтерфейсов в образовательный процесс. За счет непрерывного мониторинга активности мозга и одновременного считывания психологических и поведенческих характеристик удастся построить эффективную управляемую обратную связь, позволяющую индивидуализировать образовательный процесс (стрелка в центре рис. 1).

4. Проблемы и задачи, стоящие перед нейронаукой в образовании

Систематическое применение нейронаучных знаний в образовании наталкивается на целый ряд проблем. С одной стороны, процесс обучения с точки зрения нейробиологии очень сложен, и многие закономерности его протекания еще только предстоит раскрыть. С другой стороны, обучение — лишь часть образования, которое включает еще и воспитание.

Внедрение полученных наукой знаний в практику образования нередко протекает с большими трудностями. В частности, психология не всегда может объяснить эффективность той или иной методики преподавания. Некоторые педагогические методики продолжают использоваться в классе даже после получения в педагогике и психологии многочисленных свидетельств их неэффективности [Roediger, 2013; Wininger et al., 2019; Хэтти, 2021]. Например, учителя до сих пор поощряют учащихся к тому, чтобы подчеркивать или иным способом выделять текст при чтении и перечитывать его, несмотря на полученные в психологических исследованиях данные о том, что ни один из этих приемов не является эффективным средством усвоения [Dunlosky et al., 2013; Daley, Rawson, 2019; Rea et al., 2022]. Эти проблемы, на наш взгляд, могут быть успешно преодолены.

В критике взаимодействия нейронауки и образования можно выделить следующие аргументы. Ряд ученых высказывает априорные сомнения в актуальности данных нейробиологии для практики образования. Например, профессор Бристольского университета Д. Боуерс утверждает, что нейронаука не имеет отношения к разработке методов и оценке преподавания. Образование он рассматривает исключительно с точки зрения влияния обучения на поведенческие результаты, а лежащие в основе этого влияния нейронные механизмы обучения в мозге считает не имеющими отношения к образованию [Bowers, 2016b]. Цель образования в

данной логике рассуждений исчерпывается изменением поведения, а нейронаука в образовании рассматривается как редуционистская дисциплина.

Действительно, содержание понятия «обучение» для педагога и исследователя в области нейронаук существенно различается. С точки зрения нейронауки процесс обучения редуцируется к нескольким вариантам реализации его в мозге. Рассмотрим несколько примеров [Thomas, Ansari, Knowland, 2019]. Существует система запоминания конкретных событий, которая вовлекает эпизодическую или автобиографическую память [Markowitsch, Welzer, 2009; Budson, Richman, Kensinger, 2022]. Анатомически она реализуется в гиппокампе и окружающих его структурах, которые в целях сохранения информации могут быстро менять свои связи благодаря механизмам пластичности [Bruel-Jungerman, Davis, Laroche, 2007]. Мозг фиксирует ассоциации между перцептивной информацией и двигательными реакциями в процессе сенсомоторной интеграции [Koziol, Budding, Chidekel, 2011]. Он выявляет сложные пространственные и временные закономерности в этой информации, которые далее может быстро извлекать из памяти. Эти процессы протекают в соматосенсорной и моторной коре головного мозга, где изменение связей занимает секунды, минуты и часы. Часть формирующихся ассоциаций не осознается и вовлекает лимбические структуры мозга, ответственные за эмоции [LeDoux, 1993]. Мозг учится контролировать специфические системы в задней теменной коре, чтобы активировать их при определенных соматосенсорных воздействиях. Контроль осуществляется префронтальной корой, которая также взаимодействует с лимбическими структурами для интеграции планирования и эмоций [Salzman, Fusi, 2010]. Существует система, основанная на вознаграждении, которая работает в течение секунд и минут и определяет, что мы должны делать, чтобы получить желаемое. Существует система процедурного обучения для тренировки действий, которые мы выполняем часто и бессознательно, например некоторые механические ежедневно повторяемые действия: чтение или вождение автомобиля [Klöckner, Verplanken, 2018]. На освоение этих автоматических навыков могут уходить десятки и сотни часов. В этом случае задействуются петлеобразные нейронные цепи, соединяющие кору головного мозга через базальные ганглии с таламусом, а также с мозжечком. Обучению поддаются и высшие когнитивные функции. Функциональные сети мозга формируются в ходе восприятия и понимания других людей, так что навыки могут быть приобретены просто путем наблюдения за другими людьми, так называемого моделирования [Oberman, Ramachandran, 2007]. Возможно, в этой деятельности принимают участие зеркальные нейроны. Мозг также может использовать язык для построения новых концепций и планов, и это еще один

путь приобретения навыков [Mercer, 2000]. Протекающие в мозге процессы со временем автоматизируются, и тогда они совершаются быстро, плавно и не требуют когнитивных усилий и даже осознания [Vaars, 1997]. Навыки постепенно передаются в базальные ганглии и мозжечковые структуры [Caligiore et al., 2017; Caligiore et al., 2019]. Чем чаще знания или навыки используются, тем более автоматизированными они становятся с точки зрения работы нейронных подсистем мозга. Чем реже используются навыки или знания, тем с большей вероятностью они будут утрачены. При этом забывание разных фактов и навыков происходит с разной скоростью. Все системы мозга работают комплексно; они по-разному реагируют на продолжительность и режимы обучения; они могут быть по-разному модулированы такими факторами, как мотивация и эмоциональное состояние. Оценить и учесть влияние всех механизмов работы мозга на обучение — задача чрезвычайно сложная и в настоящее время еще не решенная.

Другое направление критики связи нейронаук с практикой образования привлекает аргументы из текущей практической деятельности в области образовательной нейронауки. В среде педагогов бытовали ожидания революции в методах обучения, которую должна была быстро произвести нейронаука. Предполагалось, что эти методы будут «сконструированы» на основании раскрытых ею механизмов обучения мозга. К сожалению, эти ожидания не оправдались, в частности из-за того, что перенос данных из лаборатории в учебную аудиторию весьма затруднен. Поэтому ученые сосредоточились на изучении механизмов функционирования мозга, лежащих в основании общепризнанных методов обучения, эффективность которых доказана в педагогике и психологии. Для этого активно использовались методы нейровизуализации и статистического анализа, а в последнее время и машинного обучения. Однако методы, необходимые для сбора нейронаучных данных, такие как нейровизуализация мозга, требуют контролируемых экспериментальных условий. Они весьма далеки от условий, в которых происходит реальное обучение, — а следовательно, трансфер знаний из фундаментальной нейронауки в практическую педагогику слабо обоснован. Педагоги и психологи отмечают недостаток эмпирических и экспериментальных данных. Профессор психологии Университета Вирджинии и специалист в современных методах обучения Д. Виллингем пишет: «Похоже, что статей, в которых рассматриваются перспективы применения нейронауки в образовании, в три раза больше, чем реальных эмпирических данных на эту тему» [Willingham, 2018]. Такие критические высказывания в адрес применения нейронауки в образовании легко найти на страницах психологических и педагогических журналов.

В российских периодических изданиях в последние годы резко увеличилось число статей о нейропедагогике и нейродидак-

тике, что говорит об интересе научно-педагогического сообщества к данному направлению. Однако большинство таких работ носит декларативный характер: констатируется возможность и важность применения данных нейронаук в образовании и отсутствуют результаты оригинальных исследований. Часто эти работы содержат фактические ошибки, которые кочуют из статьи в статью. Неудивительно, что наблюдается значительный поток ретракции таких публикаций из журналов. Авторы большинства таких работ — специалисты в области образования и психологии, не имеющие реального опыта и материально-технической базы (особенно в провинциальных университетах) для организации и проведения экспериментальных исследований, которые могли бы способствовать накоплению фактического эмпирического материала в области нейронауки.

Эффективное развитие нового научного направления возможно только в тех университетах, где налажено сотрудничество и плотное взаимодействие научных групп, работающих в области педагогики и психологии, и групп, работающих в сфере когнитивной нейронауки. Только такое междисциплинарное взаимодействие, обеспечивающее совместную выработку исследовательской повестки, постановку конкретных задач, планирование экспериментов и обсуждение их результатов, может дать реальный импульс развитию нейронауки в образовании. Об этом свидетельствуют как зарубежные данные, так и опыт ведущих российских университетов, ведущих исследования в этом направлении, — ВШЭ, УрФУ, БФУ и др.

Значительную трудность для психологов и педагогов представляет интерпретация нейронаучных данных, полученных в ходе специально поставленных нейрофизиологических экспериментов. Сформированные на основании этих данных представления о том, как происходит процесс обучения в мозге, не порождают автоматически способы улучшения результатов обучения с помощью педагогических методик, равно как и понимание причин затруднений в обучении не так просто перевести в соответствующие корректирующие педагогические практики [Bowers, 2016b].

Применению данных нейронаук в практике образования в значительной степени может способствовать точное определение того, что именно учителям нужно знать о нейронауке или теории психологии. Преподавание в классе — это интерактивное и иммерсивное взаимодействие, форма совместной интеллектуальной деятельности, поэтому оно не может быть напрямую обусловлено той или иной теорией. Безусловно, в программу подготовки учителей должны быть включены основы современной теории обучения с точки зрения нейронауки. Такие курсы будут способствовать сокращению распространенности нейромифов — бытующих в общественном сознании, в том числе среди учителей,

неправильных представлений о мозге и образовании, представлений, которые либо не подтверждены эмпирическими данными либо опровергаются ими [Tardif, Doudin, Meylan, 2015]. Один из примеров действия нейромифов — проводимые в школах по всему миру мероприятия, призванные развить у учащихся «установку на рост». Предполагается, что таким образом можно повысить их академическую успеваемость. От «установки на рост» ожидают множества положительных результатов — в противоположность «установке на данность». Однако два метаанализа исследований, в которых изучались взаимосвязи между мышлением и академической успеваемостью, а также результаты вмешательств с «установкой на рост» с точки зрения академической успеваемости, показали отсутствие эффекта данной установки [Sisk et al., 2018]. Другой пример нейромифа — подбор учителями учебных материалов для учащихся в соответствии с их индивидуальными стилями обучения [Rohrer, Pashler, 2012].

Таким образом, формирование у исследователей в области образования и у практиков научно обоснованных представлений о механизмах обучения должно способствовать совершенствованию методов и подходов в педагогике, однако перенос знаний о нейронаучных основах обучения в область психологии и педагогики весьма сложен. Единственно возможный путь к формированию таких представлений — это проведение исследований, накопление эмпирического материала и выработка научного метода для применения нейронауки в образовании. В следующем разделе мы рассмотрим современные исследования в области нейронаук, потенциально пригодные к использованию в сфере образования.

5. Библиографический анализ современных исследований в области нейронауки

Для изучения основных направлений нейронаучных исследований в области образования мы используем наукометрию как наиболее показательный способ оценки активности ученых в той или иной сфере. Основной исследовательский вопрос, на который был призван ответить библиографический анализ, сформулирован следующим образом: каковы тенденции применения нейронаучных подходов в целях образования, а также направления и инструменты исследований, отраженные в научных статьях, опубликованных на протяжении 2000–2022 гг.? Вопрос был намеренно сформулирован широко, чтобы максимально охватить работы, представляющие разные направления нейронаучных исследований в области образования.

Для исследования использовалась методика, предложенная в [Букина, Храмова, Куркин, 2021]. Основной особенностью методики является включение в рассмотрение только работ из ведущих журналов, публикующих статьи по нейрообразованию. Статьи отобраны на основе предварительного анализа библио-

графических баз данных *Scopus* и *WoS*. В список включены 9 журналов: *Cognitive Development*, *Brain and Cognition*, *Computers & Education*, *Computers in Human Behavior*, *Developmental Cognitive Neuroscience*, *Heliyon*, *International Journal of Psychophysiology*, *Journal of Sport and Health Science*, *Trends in Neuroscience and Education*. Все они в системе библиографической информации *Scimago*³ входят в первый квартиль изданий в области нейронауки и/или педагогики. Таким образом, критерием исключения работ из рассмотрения стала публикация их в журналах, не входящих в указанный список. В качестве анализируемого периода выбраны 2000–2022 г., поэтому работы, опубликованные в указанных журналах ранее 1 января 2000 г., не включены в анализ. С целью максимального охвата работ в интересах выявления тенденций применения нейронаучных подходов в задачах образования мы не накладывали ограничений на основании использованных экспериментальных процедур, например размера групп, с которыми проводились эксперименты, экспериментальных парадигм.

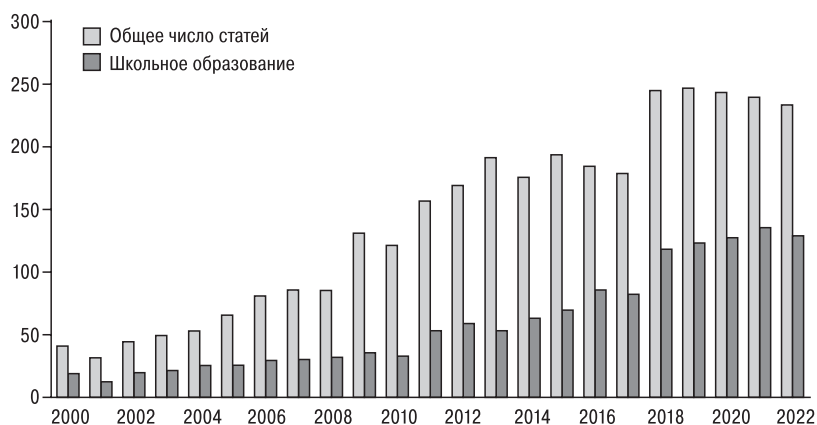
Поиск осуществлялся в базе данных *Scopus*, в которой представлены все вышеназванные журналы. Использовались следующие ключевые слова, описывающие как инструментальные средства нейронауки, так и образовательные термины: «интерфейс “мозг — компьютер”», «электроэнцефалография (ЭЭГ)», «функциональная спектроскопия в ближней инфракрасной области (фБИКС)», «функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ)», «магнитоэнцефалография (МЭГ)», «образование», «тренировка», «обучение». Для выявления релевантных статей на базе указанных терминов составлен структурированный поисковый запрос с использованием объединения ключевых слов в двух основных аспектах, а именно метода нейровизуализации как главного отличительного свойства когнитивной нейронауки и образовательного термина, при помощи логических операторов «и» и «или». «Визуализация мозга» и «образование/обучение» использованы в качестве основных («зонтичных») ключевых слов, чтобы гарантировать включение интересующих нас работ в анализ. Поисковый запрос формулировался на английском языке. Все поисковые запросы выполнены 30 декабря 2022 г., поэтому есть некоторая вероятность, что часть работ, вышедших в конце 2022 г., не была к этой дате проиндексирована в *Scopus* и не вошла в рассмотрение.

Обнаруженные в результате поиска 3230 работ выгружены из базы данных с набором их ключевых слов (обычно от трех до десяти). Далее для оценки частоты встречаемости тех или иных ключевых слов использовалась программа *Microsoft Excel*. Выделены наиболее популярные ключевые слова (30 терминов), и для ана-

³ <https://www.scimagojr.com/>

лиза совпадений и картирования ключевых слов использовался подход на основе библиометрических сетей на базе программы *VOSViewer 1.6.18*⁴. С их помощью идентифицированы основные направления исследований, которые далее верифицировались вручную для уточнения отнесения конкретной работы к тому или иному направлению. На данном этапе рассматривались 2744 работы, остальные исключены из анализа основных направлений исследований в силу сложности их классификации по указанным в работе ключевым словам. На рис. 3 отражена динамика общего числа опубликованных за год статей по направлению «нейронаука в образовании» с 2000 по 2022 г. На рис. 4 представлены шесть основных направлений исследований и приходящаяся на каждое из этих направлений доля опубликованных работ.

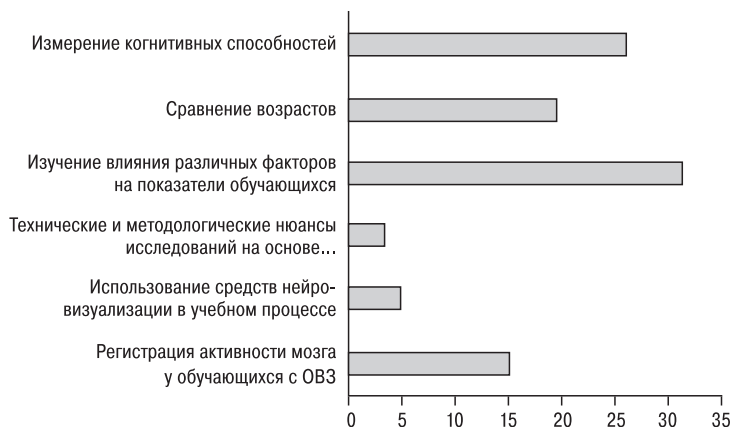
Рис. 3. Ежегодное количество опубликованных статей, посвященных исследованию мозговых механизмов обучения и, в частности, обучения школьников, за 2000–2022 гг. (по данным международной базы данных Scopus)



Отдельно нас интересовали исследования, в которых нейровизуализация использовалась для изучения мозговой активности детей школьного возраста в образовательном процессе. Эти работы, на наш взгляд, представляют особый интерес с точки зрения применения нейронауки в образовании, так как мозг маленького ребенка наиболее пластичен и, вероятно, наиболее подвержен любым влияниям при обучении [Goswami, 2016; Hruby, Goswami, 2018; Knowland, Thomas, 2021]. В результате поиска с добавлением в поисковый запрос дополнительных ключевых слов «школа», «ребенок», «дети» обнаружены 1358 работ, 1122 из них на основании ключевых слов также были классифицированы по основным направлениям.

⁴ Centre for Science and Technology Studies, Leiden University, The Netherlands: <https://www.vosviewer.com>

Рис. 4. **Относительная доля работ в каждом из основных направлений исследований за 2000–2022 гг., % (по данным международной базы данных Scopus)**



На основании проведенного наукометрического анализа выделены шесть основных направлений исследований на стыке нейронауки и образования:

- измерение когнитивных способностей;
- сравнение показателей когнитивных функций в разных возрастных категориях обучающихся;
- совершенствование технических и методологических аспектов исследований на основе нейровизуализации;
- изучение влияния различных факторов (ошибки, стресс, двигательная активность, отношение испытуемого к процессу тестирования, уровень интеллекта) на показатели деятельности обучающихся;
- использование средств нейровизуализации в учебном процессе (при решении учебных задач);
- регистрация активности мозга у обучающихся с нарушениями развития.

На рис. 4 представлены относительные доли работ, выполненных в каждом из выделенных направлений исследований. Число работ при расчете относительной доли нормируется на общее число работ, отнесенных к этим шести направлениям.

Основные усилия ученых направлены на изучение реакций мозга на те или иные внешние и внутренние влияния, оценку когнитивных способностей, а также на изучение возрастных различий в развитии когнитивных функций. При этом во многих работах вопрос о применении полученных знаний в педагогической практике вообще не поднимается. Как следствие, наименее про-

работанными оказываются важные именно с точки зрения образования методологические подходы и способы применения технических средств нейровизуализации. Причина состоит в обсуждавшихся выше серьезных проблемах, затрудняющих внедрение нейронаучных практик и подходов в учебный процесс. В рассматриваемый период среди опубликованных работ исследований, в которых рассматривались бы возможности применения нейронаучных данных в образовательной практике, удручающе мало.

6. Обзор инструментов когнитивной нейронауки, используемых для исследований в области образования

Рассмотрим некоторые из направлений исследований, выявленных в предыдущем разделе, более подробно.

Когнитивная нейронаука развития уделяет большое внимание изучению механизмов познания и выработки навыков в процессе обучения [Amso, Scerif, 2015; Rueda, 2018]. На основе полученных в таких исследованиях данных появляется возможность предложить новые виды учебной деятельности и способы оценки их влияния на успешность обучения. В основе таких исследований лежат нейробиологические работы по формированию в мозге ассоциаций между сенсорной информацией и поведенческими реакциями и их связи с тормозным контролем (т.е. со способностью произвольно регулировать сильные или автоматические поведенческие реакции), по формированию долговременной памяти и ее связи с долговременным потенцированием, по обучению на основе вознаграждения. Во многих исследованиях данные нейронауки используются для выявления и оценки основных когнитивных операций, необходимых для овладения такими автоматическими навыками, как грамотность и счет, с возможностью определения причин дефицита (например, в одной или нескольких основных операциях) и методов обучения, направленных на выработку и автоматизацию этих операций. В исследовании, посвященном обучению счету, использовались методы нейровизуализации (в основном фМРТ и ЭЭГ) для выявления взаимосвязи между обучением и соответствующими основными навыками восприятия числовых символов (в веретеновидной (фузиформной) извилине в части височной доли и затылочной доле), между представлением числа и манипуляциями с величинами (во внутритеменной борозде и угловой извилине в теменной доле), между пространственными способностями (в теменной доле) и усвоением концепций, принципов и процедур (с участием префронтальной коры) [Butterworth, Varma, 2013]. В этих работах, в частности, обнаружены различия в осуществлении счета и поиске чисел на основе таблицы Шульте между детьми младшего школьного возраста и взрослыми испытуемыми [Maximenko et al., 2018; Khramova et al., 2021]. Выявление базовых систем в мозге дало возможность целенаправленной

тренировки ассоциированной с теменной долей «приблизительной системы чисел» для быстрой оценки количества [Budgen, DeWind, Brannon, 2016], визуально-пространственной рабочей памяти для субитизации [Menon, 2016], а также системы обработки пространственной информации для лучшего понимания карт, диаграмм и графиков [Newcombe, 2016].

В рассматриваемый период активно развивающимся направлением нейронауки была нейролингвистика. Основные исследования здесь ведутся на студентах, обучающихся одному или нескольким иностранным языкам [Писарчик и др., 2023]. Выявлены различающиеся между собой нейронные механизмы, обеспечивающие визуальную, семантическую и фонологическую обработку иностранных слов [Miozzo, Pulvermuller, Hauk, 2015], обнаружены различия в характере активации мозга между студентами, в разной степени владеющими иностранным языком, и маркеры языковых ошибок [Sianipar, Middelburg, Dijkstra, 2015; Bastarrika, Davidson, 2017]. Нейронаучные исследования в области лингвистики и математики являются пионерскими, в других академических дисциплинах они пока пребывают в зачаточном состоянии, возможно, за исключением музыки [Koelsch, 2012].

В нейронаучных исследованиях образования чаще других технологий используются ЭЭГ и фБИКС: они относительно дешевы, достаточно эффективны и позволяют регистрировать активность мозга в обстановке, максимально приближенной к той, которая привычна для обучающихся, — в отличие от фМРТ и МЭГ, для проведения которых требуются специальные отдельно стоящие приборы, и их присутствие оказывает существенное влияние на эмоциональное состояние и поведение испытуемых во время эксперимента. С развитием технологий появляется возможность проводить все более масштабные и точные эксперименты, а также упрощается процесс проведения исследования для испытуемых.

Чтобы нейронаучные технологии можно было использовать в образовательном процессе, необходимы компактные и легкие приборы, не допускающие существенной потери качества считывания входных данных по сравнению со стационарными установками. На основании обзора исследований, в которых использовался один из таких приборов — портативное устройство для снятия ЭЭГ, сделан вывод, что он в основном применяется для считывания данных о фазах повышенного внимания у испытуемых [Xu, Zhong, 2018]. Почти в половине работ выборки испытуемых очень небольшие, а достоверность полученных результатов авторы обосновывают ссылками на предыдущие исследования, что снижает значимость полученных данных. Главное и неоспоримое преимущество портативных приборов для проведения исследований состоит в отсутствии многочисленных датчиков и проводов,

которыми обычно снабжены стационарные устройства. Использование в ходе исследования сложной аппаратуры, несмотря на ее высокую точность, может исказить показатели, особенно у детей и у лиц с различными отклонениями и заболеваниями.

Специалисты считают перспективным способом анализа активности мозга применительно к исследованиям в области образования функциональную ближнюю инфракрасную спектроскопию [Ferrari, Quaresima, 2012; Quaresima, Ferrari, 2019]. Этот метод исследования объединяет достоинства электроэнцефалографии, такие как компактность, возможность использования переносных устройств, с преимуществами фМРТ: регистрацией кровотока мозга с хорошим пространственным разрешением. Есть у этого метода и недостатки: как и в фМРТ, в фБИКС существует значительный гемодинамический лаг во времени, что не позволяет регистрировать быстрые процессы в мозге. В последнее время эта технология получает все более широкое распространение при нейровизуализации когнитивных процессов у детей [Soltanlou et al., 2018; Wazny, Nathan-Roberts, 2018; Skau et al., 2022].

Нейротехнологии на данном этапе становятся основой для персонализации образования [Зеер, 2021], т.е. для учета при создании программ, выборе методов и приемов обучения уровня развития и психофизиологического состояния детей. При этом в группе, где предполагается использовать такие технологии, может быть несколько «особых» детей, требующих специального подхода. В частности, для детей с расстройствами аутистического спектра разработан комплекс мер, позволяющий им заранее подробно ознакомиться с процедурой предстоящего исследования [Pua et al., 2020]. Такое ознакомление помогает минимизировать уровень стресса во время исследования. Этот комплекс включает:

- приложение, дающее возможность ребенку в формате игры узнать, как проводится исследование;
- иллюстрированный рассказ об исследовании;
- запись шума, производимого прибором во время работы;
- ознакомительную поездку на место проведения исследования;
- обучение расположению прибора ЭЭГ.

Этапы подготовки к исследованию подбираются индивидуально, в зависимости от состояния здоровья ребенка и его готовности к работе. Эмпирически установлено, что такая подготовительная работа значительно улучшает качество полученных показателей, в частности за счет снижения артефактов от движения головы. Портативные ЭЭГ- и фБИКС-системы регистрации активности мозга считаются перспективными в работе с «особыми» детьми [Lau-Zhu, Lau, McLoughlin, 2019; Liu et al., 2019]. Исследо-

ватели полагают, что портативная ЭЭГ может открыть беспрецедентные возможности для изучения нарушений нервной системы и приблизить ученых к разгадке этиологии и механизмов психопатологии на протяжении всей жизни человека, а также для создания и апробации новых образовательных технологий для детей с ограниченными возможностями здоровья [Lau-Zhu, Lau, McLoughlin, 2019].

Возможности нейронауки в обучении детей с ограниченными возможностями здоровья ярко проявляются при исследовании и коррекции дислексии. Теория временной выборки дислексии [Goswami, 2017], сформулированная на базе исследований электрической активности мозга с использованием электроэнцефалографических измерений, предполагает, что функциональный дефицит при дислексии — это следствие затруднений в использовании временной структуры речи для восприятия слогов и структуры предложения. Эмпирически показано, что выделение слуховой ритмической информации в неречевых и речевых стимулах столь же эффективно для улучшения фонологического понимания у детей с дислексией, как и непосредственное воздействие на фонологию [Thompson, Leong, Goswami, 2013]. Поэтому перспективным направлением оказания детям с дислексией помощи в обучении может быть организация для них музыкальных занятий [Flaugnacco et al., 2015]. Другой пример эффективного применения нейронауки в обучении — выявление причин того или иного нарушения, например атипичное развитие функциональной сети внимания и исполнительной сети при синдроме дефицита внимания с гиперактивностью [Shaw et al., 2013]. Выявление биомаркеров активности мозга при обучении помогает определить, какой категории обучающихся будут полезны те или иные методы вмешательства. Например, у детей с дислексией реакция мозга во время выполнения задания по чтению предсказывала успешность вмешательства, тогда как поведенческие характеристики не имели прогностической ценности [Hoeft et al., 2011]. Возможно, кроме педагогических практик в этом случае могут оказаться полезными и различные неинвазивные воздействия на мозг, в частности транскраниальная магнитная стимуляция [Wanalee, Katz, Vallée, 2015]. Уже установлена эффективность такого воздействия, а именно активации различных функциональных сетей мозга с использованием повторяющейся стимуляции необходимых областей мозга, в борьбе с депрессией [Sonmez et al., 2019]. Транскраниальная магнитная стимуляция в перспективе может найти применение и в обучении при необходимости торможения или активации тех или иных функциональных сетей мозга, например при гиперактивности возможна активация исполнительной сети в лобной доле. Таких работ пока еще очень мало, и в основном поиск различных биомаркеров заболеваний идет в русле прогно-

стической медицины [Карпов, Храмов, 2022], а не внедрения нейронаучных технологий в целях повышения эффективности и качества обучения детей с ограниченными возможностями здоровья.

7. Заключение Исследование мозга — сложная и важная междисциплинарная область современной науки. Даже с учетом полученных знаний и развития высоких технологий в области нейронауки и нейротехнологий в отношении механизмов работы мозга взрослого человека остается немало нерешенных вопросов. Еще больше загадок таит детский мозг, поскольку своевременная регистрация его преобразований представляет собой чрезвычайно сложную задачу из-за быстрых возрастных изменений и существенных различий на разных этапах развития. Понимание механизмов обучения на уровне нейронных ансамблей головного мозга может помочь в преподавании в школах, вузах и даже при обучении пожилых людей. Однако фундаментальные результаты нейронауки трудно напрямую перенести в практику образования в силу множественности систем обучения в мозге и большого числа факторов, влияющих на их работу. Использование методов регистрации активности мозга (нейровизуализации работы мозга) в процессе обучения до сих пор не получило значительного распространения из-за сложности их технической реализации и оценки полученных результатов. Эти методы применяются в основном для одноразового тестирования испытуемых в ходе изучения структур и деятельности их мозга при решении тех или иных образовательных задач и практически совсем не используются в лонгитюдных исследованиях развивающегося мозга ребенка в процессе обучения. Исследований изменений мозга во время обучения также очень мало.

Система таких исследований может быть выстроена на базе того, что можно условно назвать трансляционной образовательной нейронаукой, имеющей некоторые общие черты с трансляционной медициной. Возможность применения в образовательной практике данных, полученных в ходе анализа процессов обучения с точки зрения их мозговых механизмов, на первом этапе проверяется в пилотных исследованиях на небольших группах обучающихся с обязательными контрольными группами в лабораторных условиях. В случае получения значимых положительных результатов соответствующие методики проходят испытания на больших группах школьников и студентов. Так как исследования в этой области, как и в медицине, непосредственно влияют на мозг ребенка, необходимо обеспечить жесткое соблюдение всех этических норм, которые приняты как в когнитивной нейронауке, так и в медицине.

Широкое развертывание трансляционных исследований могло бы стать серьезной основой для дальнейшей работы по изучению реакций мозга в процессе учебной деятельности и по оценке

эффективности индивидуальных траекторий обучения, а в итоге сделать образовательную нейронауку не просто областью фундаментальных исследований, но и прикладным знанием, одной из основ педагогической науки будущего.

С точки зрения перспектив проведения нейронаучных исследований и их применения в российской системе образования представляется крайне важной реализация следующих мер:

- расширение площадок для дискуссий, посвященных проблемам нейронаук в образовании, на которых исследователи в области нейробиологии и образования могли бы вместе сформулировать актуальные вопросы и наметить пути их решения;
- включение тематических лекций, курсов и других видов учебной деятельности, связанных с нейронаучными дисциплинами, как в подготовку будущих учителей в вузах, так и в программы переподготовки педагогов. Как среди молодых исследователей, так и среди практикующих педагогов растет интерес к внедрению результатов нейронаук в практическую деятельность в школе. К сожалению, не получая научной подготовки в данной области и не имея возможности обсудить интересующие их вопросы с компетентными профессионалами, школьные учителя склонны подпадать под влияние бытующих нейромифов и верить сомнительным советам новоявленных гуру от нейронауки;
- усиление научной коллаборации ведущих вузов и исследователей в области нейронаук в образовании в рамках создания совместных сетевых магистратур, курсов повышения квалификации учителей и т.д.;
- расширение поддержки междисциплинарных исследований в области применения нейронауки в образовании, в том числе и финансовой через научные фонды. В таких работах очень важна именно кооперация исследователей из разных областей — нейробиологии, педагогики, психологии — для создания действительно эффективных и востребованных педагогических методик, основанных на успехах исследования мозга. Вероятно, для всестороннего изучения влияния новых парадигм на процесс обучения наиболее целесообразно организовывать такие исследования в форме лонгитюда.

Благодарности

Работа поддержана программой «Приоритет-2030» Балтийского федерального университета им. И. Канта Министерства образования и науки Российской Федерации.

Авторы выражают благодарность рецензентам журнала «Вопросы образования / Educational Studies Moscow», чьи замечания и рекомендации способствовали повышению качества изложения материала.

Литература

1. Бажанов В.А., Шкурко Ю.С. (2018) Современная нейронаука и образование: новые аргументы в пользу старых приемов. *Педагогика*, № 8, сс. 29–38.
2. Букина Т.В., Храмова М.В., Куркин С.А. (2021) Современные исследования функционирования мозга детей младшего школьного возраста в процессе обучения: обзор. *Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика*, т. 29, № 3, сс. 449–456. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2021-29-3-449-456>
3. Выготский Л.С. (1934) *Мышление и речь*. Л.: Государственное социально-экономическое издательство.
4. Другова Е.А., Журавлева И.И., Захарова У.С., Сотникова В.Е., Яковлева К.И. (2022) Искусственный интеллект для учебной аналитики и этапы педагогического проектирования: обзор решений. *Вопросы образования / Educational Studies Moscow*, № 4, сс. 107–153. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2022-4-107-153>
5. Зеер Э.Ф. (2021) Нейродидактика — инновационный тренд персонализированного образования. *Профессиональное образование и рынок труда*, № 4, сс. 30–38. <https://doi.org/10.52944/P0RT.2021.47.4.002>
6. Карпов О.Э., Храмов А.Е. (2022) *Информационные технологии, вычислительные системы и искусственный интеллект в медицине*. М.: ДПК Пресс.
7. Клемантович И.П., Леванова Е.А., Степанов В.Г. (2016) Нейропедагогика: новая отрасль научных знаний. *Педагогика и психология образования*, № 2, сс. 8–17.
8. Костромина С.Н., Бордовская Н.В., Искра Н.Н., Чувгунова О.А., Гнедых Д.С., Курмакаева Д.М. (2015) Нейронаука, психология и образование: проблемы и перспективы междисциплинарных исследований. *Психологический журнал*, т. 36, № 4, сс. 61–70.
9. Куликова О.В. (2014) Нейродидактический подход как фактор повышения качества обучения иноязычному профессиональному общению. *Вестник Московского государственного лингвистического университета: Образование и педагогические науки*, № 14 (700), сс. 107–114.
10. Куркин С.А., Грубов В.В., Максименко В.А., Пицци Е.Н., Храмова М.В., Храмов А.Е. (2020) Система для контроля и корректировки процесса обучения младших школьников на базе анализа данных ЭЭГ. *Информационно-управляющие системы*, № 5 (108), сс. 50–61. <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2020-5-50-61>
11. Мальсагов А.А., Лезина В.В. (2021) Нейродидактика в России: развитие и перспективы. *Мир науки, культуры, образования*, № 4 (89), сс. 149–151. <https://doi.org/10.24412/1991-5497-2021-489-149-151>
12. Писарчик А.Н., Хорев В.С., Бадарин А.А., Антипов В.М., Бударина А.О., Храмов А.Е. (2023) Методология дизайна нейрофизиологических экспериментов с предъявлением визуальных стимулов для оценки уровня владения иностранным языком. *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика*, т. 31, no 2, сс. 202–224. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-003031>
13. Степанов В.Г. (2020) *Нейропедагогика. Мозг и эффективное развитие детей и взрослых: возраст, обучение, творчество, профориентация*. М.: Академический проект.
14. Храмов А.Е., Фролов Н.С., Максименко В.А., Куркин С.А., Казанцев В.Б., Писарчик А.Н. (2021a) Функциональные сети головного мозга: от восстановления связей до динамической интеграции. *Успехи физических наук*, т. 191, № 6, сс. 614–650. <https://doi.org/10.3367/UFN.2020.06.038807>
15. Храмов А.Е., Максименко В.А., Фролов Н.С., Куркин С.А., Грубов В.В., Бадарин А.А. и др. (2021b) Мониторинг состояния головного мозга человека в задачах принятия решений при восприятии стимулов. *Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика*, т. 29, № 4, сс. 603–634. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2021-29-4-603-634>

16. Хэтти Д. (2021) *Видимое обучение для учителей. Как повысить эффективность педагогической работы*. М.: Национальное образование.
17. Alloway T.P., Alloway R.G. (2014) *Understanding Working Memory*. Thousand Oaks, CA: Sage.
18. Amso D., Scerif G. (2015) The Attentive Brain: Insights from Developmental Cognitive Neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 16, no 10, pp. 606–619. <https://doi.org/10.1038/nrn4025>
19. Baars B.J. (1997) In the Theatre of Consciousness. Global Workspace Theory, a Rigorous Scientific Theory of Consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, vol. 4, no 4, pp. 292–309.
20. Bastarrika A., Davidson D. (2017) An Event Related Field Study of Rapid Grammatical Plasticity in Adult Second-Language Learners. *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 11, January, Article no 12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00012>
21. Beauchamp, C., Beauchamp M.H. (2013) Boundary as Bridge: An Analysis of the Educational Neuroscience Literature from a Boundary Perspective. *Educational Psychology Review*, vol. 25, no 1, pp. 47–67. <https://doi.org/10.1007/s10648-012-9207-x>
22. Bernacki M.L., Walkington C. (2018) The Role of Situational Interest in Personalized Learning. *Journal of Educational Psychology*, vol. 110, no 6, pp. 864–881. <https://doi.org/10.1037/edu0000250>
23. Bowers J.S. (2016a) Psychology, Not Educational Neuroscience, Is the Way Forward for Improving Educational Outcomes for All Children: Reply to Gabrieli (2016) and Howard-Jones et al. (2016). *Psychological Review*, vol. 123, no 5, pp. 628–635. <https://doi.org/10.1037/rev0000043>
24. Bowers J.S. (2016b) The Practical and Principled Problems with Educational Neuroscience. *Psychological Review*, vol. 123, no 5, pp. 600–612. <https://doi.org/10.1037/rev0000025>
25. Brockington G., Balardin J.B., Morais G., Malheiros A., Lent R., Moura L., Sato J.R. (2018) From the Laboratory to the Classroom: The Potential of Functional Near-Infrared Spectroscopy in Educational Neuroscience. *Frontiers in Psychology*, vol. 9, October, Article no 1840. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01840>
26. Brookman-Byrne A., Thomas M.S.C. (2018) Neuroscience, Psychology and Education: Emerging Links. *Impact*, no 2, pp. 5–8.
27. Bruce C.D., Davis B., Sinclair N., McGarvey L., Hallowell D., Drefs M., Francis K. et al. (2017) Understanding Gaps in Research Networks: Using “Spatial Reasoning” as a Window into the Importance of Networked Educational Research. *Educational Studies in Mathematics*, vol. 95, no 2, pp. 143–161. <https://www.jstor.org/stable/45184558>
28. Bruel-Jungerman E., Davis S., Laroche S. (2007) Brain Plasticity Mechanisms and Memory: A Party of Four. *The Neuroscientist*, vol. 13, no 5, pp. 492–505. <https://doi.org/10.1177/107385840730>
29. Bruer J.T. (1997) Education and the Brain: A Bridge Too Far. *Educational Researcher*, vol. 26, no 8, pp. 4–16. <https://doi.org/10.3102/0013189X026008004>
30. Budgen S., DeWind N.K., Brannon E.M. (2016) Using Cognitive Training Studies to Unravel the Mechanisms by which the Approximate Number System Supports Symbolic Math Ability. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, vol. 10, May, pp. 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.05.002>
31. Budson A.E., Richman K.A., Kensinger E.A. (2022) Consciousness as a Memory System. *Cognitive and Behavioral Neurology*, vol. 35, no 4, pp. 263–297. <https://doi.org/10.1097/WNN.0000000000000319>
32. Bulger M. (2016) *Personalized Learning: The Conversations We’re Not Having*. Data & Society Research Institute Working Paper 07.22.2016. Available at: https://www.datasociety.net/pubs/ecl/PersonalizedLearning_primer_2016.pdf (accessed 20 June 2023).

33. Butterworth B., Varma S. (2013). Mathematical Development. *Educational Neuroscience* (eds D. Mareschal, B. Butterworth, A. Tolmie), Oxford, UK: Wiley Blackwell, pp. 201–236.
34. Caligiore D., Arbib M.A., Miall R.C., Baldassarre G. (2019) The Super-Learning Hypothesis: Integrating Learning Processes across Cortex, Cerebellum and Basal Ganglia. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 100, February, pp. 19–34. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.02.008>
35. Caligiore D., Pezzulo G., Baldassarre G., Bostan A.C., Strick P.L., Doya K. et al. (2017) Consensus Paper: Towards a Systems-Level View of Cerebellar Function: The Interplay between Cerebellum, Basal Ganglia, and Cortex. *The Cerebellum*, vol. 16, no 1, pp. 203–229. <https://doi.org/10.1007/s12311-016-0763-3>
36. Chandler J.A., Harrel N., Potkonjak T. (2019) Neurolaw Today — A Systematic Review of the Recent Law and Neuroscience Literature. *International Journal of Law and Psychiatry*, vol. 65, no 1, Article no 101341. <https://doi.org/10.1016/j.ijlp.2018.04.002>
37. Clement N.D., Lovat T. (2012) Neuroscience and Education: Issues and Challenges for Curriculum. *Curriculum Inquiry*, vol. 42, no 4, pp. 534–557. <https://doi.org/10.1111/j.1467-873X.2012.00602.x>
38. Daley N., Rawson A.K. (2019) Elaborations in Expository Text Impose a Substantial Time Cost but Do Not Enhance Learning. *Educational Psychology Review*, vol. 31, no 2, pp. 197–222. <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9451-9>
39. De Brigard F., Sinnott-Armstrong W. (eds) (2022) *Neuroscience and Philosophy*. Cambridge, MA; London, England: MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/12611.001.0001>
40. Davidesco I., Matuk C., Bevilacqua D., Poeppel D., Dikker S. (2021) Neuroscience Research in the Classroom: Portable Brain Technologies in Education Research. *Educational Researcher*, vol. 50, no 9, pp. 649–656. <https://doi.org/10.3102/0013189X211031563>
41. Dimitropoulos K., Mystakidis S., Fragkaki M. (2022) Bringing Educational Neuroscience to Distance Learning with Design Thinking: The Design and Development of a Hybrid E-learning Platform for Skillful Training. Proceedings of the 2022 7th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (Ioannina, Greece, September 23–25, 2022), pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/SEEDA-CECNM57760.2022.9932939>
42. Donaldson K., Tran L., Jimenez L.A., Duffin R., Newby D.E. et al. (2005) Combustion-Derived Nanoparticles: A Review of Their Toxicology Following Inhalation Exposure. *Particle and Fibre Toxicology*, vol. 2, no 1, Article no 10. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-2-10>
43. Doukakis S., Alexopoulos E.C. (2021) The Role of Educational Neuroscience in Distance Learning. Knowledge Transformation Opportunities. Proceedings of the *International Conference on Interactive Collaborative and Blended Learning (Hamilton, Canada, October 14–16, 2020)*, Cham: Springer, pp. 159–168. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67209-6_18
44. Dunlosky J., Rawson K.A., Marsh E.J., Nathan M.J., Willingham D.T. (2013) Improving Students' Learning with Effective Learning Techniques: Promising Directions from Cognitive and Educational Psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, vol. 14, no 1, pp. 4–58. <https://doi.org/10.1177/1529100612453266>
45. Feiler J.B., Stabio M.E. (2018) Three Pillars of Educational Neuroscience from Three Decades of Literature. *Trends in Neuroscience and Education*, vol. 13, November, pp. 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2018.11.001>
46. Ferrari M., Quaresima V. (2012) A Brief Review on the History of Human Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) Development and Fields of Application. *Neuroimage*, vol. 63, no 2, pp. 921–935. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.03.049>

47. Filler A. (2010) The History, Development and Impact of Computed Imaging in Neurological Diagnosis and Neurosurgery: CT, MRI, and DTI. *The Internet Journal of Neurosurgery*, vol. 7, no 1. <https://ispub.com/IJNS/7/1/12184>
48. Flaugnacco E., Lopez L., Terribili C., Montico M., Zois S., Schön D. (2015) Music Training Increases Phonological Awareness and Reading Skills in Developmental Dyslexia: A Randomized Control Trial. *PLoS One*, vol. 10, no 9, Article no e0138715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138715>
49. Frith C. (2013) *Making up the Mind: How the Brain Creates Our Mental World*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
50. Goswami U. (2017) A Neural Basis for Phonological Awareness? An Oscillatory 'Temporal Sampling' Perspective. *Current Directions in Psychological Science*, vol. 27, June, pp. 56–63. <https://doi.org/10.1177/0963721417727520>
51. Goswami U. (2016) Educational Neuroscience: Neural Structure-Mapping and the Promise of Oscillations. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, vol. 10, May, pp. 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.05.011>
52. Goswami U. (2006) Neuroscience and Education: From Research to Practice? *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 7, no 5, pp. 406–413. <https://doi.org/10.1038/nrn1907>
53. Han H., Soylu F., Anchan D.M. (2019) Connecting Levels of Analysis in Educational Neuroscience: A Review of Multi-Level Structure of Educational Neuroscience with Concrete Examples. *Trends in Neuroscience and Education*, vol. 17, July, Article no 100113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tine.2019.100113>
54. Hille K. (2011) Bringing Research into Educational Practice: Lessons Learned. *Mind, Brain, and Education*, vol. 5, no 2, pp. 63–70. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2011.01111.x>
55. Hirsh-Pasek K., Bruer J.T. (2007) The Brain/Education Barrier. *Science*, vol. 317, no 5843, pp. 1293–1293. <https://doi.org/10.1126/science.1148983>
56. Hoefft F., McCandliss B.D., Black J.M., Gantman A., Zakerani N., Hulme C. et al. (2011) Neural Systems Predicting Long-Term Outcome in Dyslexia. *PNAS*, vol. 108, no 1, pp. 361–366. <https://doi.org/10.1073/pnas.1008950108>
57. Howard-Jones P. (2014) Neuroscience and Education: Myths and Messages. *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 15, no 2, pp. 817–824. <https://doi.org/10.1038/nrn3817>
58. Howard-Jones P., Varma S., Ansari D., Butterworth B., De Smedt B., Goswami U., Thomas M.S.C. (2016) The Principles and Practices of Educational Neuroscience: Commentary on Bowers (2016). *Psychological Review*, vol. 123, no 5, pp. 620–627. <https://doi.org/10.1037/rev0000036>
59. Hramov A.E., Maksimenko V.A., Pisarchik A.N. (2021) Physical Principles of Brain-Computer Interfaces and Their Applications for Rehabilitation, Robotics and Control of Human Brain States. *Physics Reports*, vol. 918, no 6, pp. 1–133. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2021.03.002>
60. Hruby G.G., Goswami U. (2018) Educational Neuroscience for Reading Researchers. *Theoretical Models and Processes of Literacy* (eds D.E. Alvermann, N.J. Unrau, M. Sailors, R.B. Ruddell), New York, NY: Routledge, pp. 252–277. <https://doi.org/10.4324/9781315110592>
61. Jiang F., VanDyke R.D., Zhang J., Li F., Gozal D., Shen X. (2011) Effect of Chronic Sleep Restriction on Sleepiness and Working Memory in Adolescents and Young Adults. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, vol. 33, no 8, pp. 892–900. <https://doi.org/10.1080/13803395.2011.570252>
62. Kedia G., Harris L., Lelieveld G.-J., van Dillen L. (2017) From the Brain to the Field: The Applications of Social Neuroscience to Economics, Health and Law. *Brain Sciences*, vol. 7, no 8, Article no 94. <https://doi.org/10.3390/brainsci7080094>
63. Klöckner C.A., Verplanken B. (2018) Yesterday's Habits Preventing Change for Tomorrow? About the Influence of Automaticity on Environmental Behaviour. *En-*

- vironmental Psychology: An Introduction* (eds L. Steg, J.I.M. de Groot), Oxford: Wiley-Blackwell, pp. 238–250. <https://doi.org/10.1002/9781119241072.ch24>
64. Khramova M.V., Kuc A.K., Maksimenko V.A., Frolov N.S., Grubov V.V., Kurkin S.A. et al. (2021) Monitoring the Cortical Activity of Children and Adults during Cognitive Task Completion. *Sensors*, vol. 21, no 18, Article no 6021. <https://doi.org/10.3390/s21186021>
65. Knowland V.C.P., Thomas M. (2014) Educating the Adult Brain: How the Neuroscience of Learning Can Inform Educational Policy. *International Review of Education*, vol. 60, no 1, pp. 99–122. <https://doi.org/10.1007/s11159-014-9412-6>
66. Koelsch S. (2012) *The Brain and Music*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
67. Koziol L.F., Budding D.E., Chidekel D. (2011) Sensory Integration, Sensory Processing, and Sensory Modulation Disorders: Putative Functional Neuroanatomic Underpinnings. *The Cerebellum*, vol. 10, no 4, pp. 770–792. <https://doi.org/10.1007/s12311-011-0288-8>
68. Krueger F., Meyer-Lindenberg A. (2019) Toward a Model of Interpersonal Trust Drawn from Neuroscience, Psychology, and Economics. *Trends in Neurosciences*, vol. 42, no 2, pp. 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2018.10.004>
69. Lau-Zhu A., Lau M.P.H., McLoughlin G. (2019) Mobile EEG in Research on Neurodevelopmental Disorders: Opportunities and Challenges. *Developmental Cognitive Neuroscience*, vol. 36, March, Article no 100635. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2019.100635>
70. Lăzăroiu G., Pera A., Ștefănescu-Mihăilă R.O., Mircică N., Neguriță O. (2017) Can Neuroscience Assist Us in Constructing Better Patterns of Economic Decision-Making? *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, vol. 11, October, Article no 188. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2017.00188>
71. Leisman G. (2023) Neuroscience in Education: A Bridge Too Far or One That Has Yet to Be Built: Introduction to the “Brain Goes to School”. *Brain Sciences*, no 13, Article no 40. <https://doi.org/10.3390/brainsci13010040>
72. LeDoux J.E. (1993) Emotional Memory Systems in the Brain. *Behavioural Brain Research*, vol. 58, no 1-2, pp. 69–79. [https://doi.org/10.1016/0166-4328\(93\)90091-4](https://doi.org/10.1016/0166-4328(93)90091-4)
73. Liu T., Liu X., Yi L., Zhu C., Markey P.S., Pelowski M. (2019) Assessing Autism at Its Social and Developmental Roots: A Review of Autism Spectrum Disorder Studies Using Functional Near-Infrared Spectroscopy. *Neuroimage*, vol. 185, January, pp. 955–967. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.09.044>
74. Lo J.C., Ong J.L., Leong R.L., Gooley J.J., Chee M.W. (2016) Cognitive Performance, Sleepiness, and Mood in Partially Sleep Deprived Adolescents: The Need for Sleep Study. *Sleep*, vol. 39, no 3, pp. 687–698. <https://doi.org/10.5665/sleep.5552>
75. Maksimenko V.A., Runnova A.E., Zhuravlev M.O., Protasov P., Kulanin R., Khramova M.V., Pisarchik A.N., Hramov A.E. (2018) Human Personality Reflects Spatio-Temporal and Time-Frequency EEG Structure. *PLoS One*, vol. 13, no 9, Article no e0197642. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197642>
76. Mareschal D., Johnson M., Sirios S., Spratling M., Thomas M.S.C., Westermann G. (2007) *Neuroconstructivism: How the Brain Constructs Cognition*. Oxford: Oxford University.
77. Markowitsch H.J., Welzer H. (2009) *The Development of Autobiographical Memory*. New York, NY: Psychology Press.
78. Menon V. (2016) Working Memory in Children’s Math Learning and Its Disruption in Dyscalculia. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, vol. 10, June, pp. 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.05.014>
79. Mercer N. (2000) *Words and Minds: How We Use Language to Think Together*. London: Routledge.
80. Miozzo M., Pulvermuller F., Hauk O. (2015) Early Parallel Activation of Semantics and Phonology in Picture Naming: Evidence from a Multiple Linear Regression MEG Study. *Cereb Cortex*, vol. 25, no 10. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhu137>

81. Newcombe N.S. (2016) Thinking Spatially in the Science Classroom. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, vol. 10, August, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.04.010>
82. Oberman L.M., Ramachandran V.S. (2007) The Simulating Social Mind: The Role of the Mirror Neuron System and Simulation in the Social and Communicative Deficits of Autism Spectrum Disorders. *Psychological Bulletin*, vol. 133, no 2, pp. 310–327. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.2.310>
83. Park H.-J., Friston K. (2013) Structural and Functional Brain Networks: From Connections to Cognition. *Science*, vol. 342, no 6158, Article no 1238411. <https://doi.org/10.1126/science.1238411>
84. Petersen S.E., Posner M.I. (2012) The Attention System of the Human Brain: 20 Years after. *Annual Review of Neuroscience*, vol. 35, no 1, pp. 73–89. <https://doi.org/10.1146%2Fannurev-neuro-062111-150525>
85. Pua E.P.K., Barton S., Williams K., Craig J.M., Seal M.L. (2020) Individualised MRI Training for Paediatric Neuroimaging: A Child-Focused Approach. *Developmental Cognitive Neuroscience*, vol. 41, no 1, Article no 100750. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2019.100750>
86. Quaresima V., Ferrari M. (2019) A Mini-Review on Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS): Where Do We Stand, and Where Should We Go? *Photonics*, vol. 6, no 3, Article no 87. <https://doi.org/10.3390/photonics6030087>
87. Rea S.D., Wang L., Muenks K., Yan V. (2022) Students Can (Mostly) Recognize Effective Learning, So Why Do They Not Do It? *Journal of Intelligence*, vol. 10, no 4, Article no 127. <https://doi.org/10.3390/jintelligence10040127>
88. Roediger H.L. (2013) Applying Cognitive Psychology to Education: Translational Educational Science. *Psychological Science in the Public Interest*, vol. 14, no 1, pp. 1–3. <https://doi.org/10.1177/1529100612454415>
89. Rohrer D., Pashler H. (2012) Learning Styles: Where's the Evidence? *Medical Education*, vol. 46, no 7, pp. 634–635. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2012.04273.x>
90. Rueda M.R. (2018) Attention in the Heart of Intelligence. *Trends in Neuroscience and Education*, vol. 13, November, pp. 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2018.11.003>
91. Ruiz-Ariza A., Grao-Cruces A., Marques de Loureiro N.E., Martínez-López E.J. (2017) Influence of Physical Fitness on Cognitive and Academic Performance in Adolescents: A Systematic Review from 2005–2015. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, vol. 10, no 1, pp. 108–133. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2016.1184699>
92. Sala G., Fernand G. (2017) Does Far Transfer Exist? Negative Evidence from Chess, Music, and Working Memory Training. *Current Directions in Psychological Science*, vol. 26, no 6, pp. 515–520. <https://doi.org/10.1177/096372141771127>
93. Salzman C. D., Fusi S. (2010) Emotion, Cognition, and Mental State Representation in Amygdala and Prefrontal Cortex. *Annual Review of Neuroscience*, vol. 33, no 1, pp. 173–202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.051508.135256>
94. Sianipar A., Middelburg R., Dijkstra T. (2015) When Feelings Arise with Meanings: How Emotion and Meaning of a Native Language Affect Second Language Processing in Adult Learners. *PLoS One*, vol. 10, no 12, Article no e0144576. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144576>
95. Sigman M., Peña M., Goldin A., Riberio S. (2014) Neuroscience and Education: Prime Time to Build the Bridge. *Nature Neuroscience*, vol. 17, no 4, pp. 497–502. <https://doi.org/10.1038/nn.3672>
96. Simons D.J., Boot W.R., Charness N., Gathercole S.E., Chabris C.F., Hambrick D.Z., Stine-Morrow E.A.L. (2016) Do “Brain-Training” Programs Work? *Psychological Science in the Public Interest*, vol. 17, no 3, pp. 103–186. <https://doi.org/10.1177/1529100616661983>

97. Sisk V.F., Burgoyne A.P., Sun J., Butler J.L., Macnamara B.N. (2018) To What Extent and under Which Circumstances Are Growth Mind-Sets Important to Academic Achievement? Two Meta-Analyses. *Psychological Science*, vol. 29, no 4, pp. 549–571. <https://doi.org/10.1177/0956797617739704>
98. Shaw P., Watson M.M., Greenstein V., de Rossi P., Sharp W. (2013) Trajectories of Cerebral Cortical Development in Childhood and Adolescence and Adult Attention-Deficit / Hyperactivity Disorder. *Biological Psychiatry*, vol. 74, no 8, pp. 599–606. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2013.04.007>
99. Skau S., Helenius O., Sundberg K., Bunketorp-Käll L., Kuhn H.G. (2022) Proactive Cognitive Control, Mathematical Cognition and Functional Activity in the Frontal and Parietal Cortex in Primary School Children: An fNIRS Study. *Trends in Neuroscience and Education*, vol. 28, no 10, Article no 100180. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2022.100180>
100. Soltanlou M., Sitnikova M.A., Nuerk H., Dresler T. (2018) Applications of Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) in Studying Cognitive Development: The Case of Mathematics and Language. *Frontiers in Psychology*, vol. 9, April, Article no 277. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00277>
101. Sonmez A.I., Camsari D.D., Nandakumar A.L., Vande Voort J.L., Kung S., Lewis C.P., Croarkin P.E. (2019) Accelerated TMS for Depression: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Psychiatry Research*, vol. 273, March, pp. 770–781. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.12.041>
102. Soufineyestani M., Dowling D., Khan A. (2020) Electroencephalography (EEG) Technology Applications and Available Devices. *Applied Sciences*, vol. 10, no 21, Article no 7453. <https://doi.org/10.3390/app10217453>
103. Stojanoski B., Wild C.J., Battista M.E., Nichols E.S., Owen A.M. (2021) Brain Training Habits Are Not Associated with Generalized Benefits to Cognition: An Online Study of Over 1000 “Brain Trainers”. *Journal of Experimental Psychology: General*, vol. 150, no 4, pp. 729–738. <https://doi.org/10.1037/xge0000773>
104. Sunyer J., Esnaola M., Alvarez-Pedrerol M., Fornis J., Rivas I. et al. (2015) Association between Traffic-Related Air Pollution in Schools and Cognitive Development in Primary School Children: A Prospective Cohort Study. *PLoS Medicine*, vol. 12, no 3, Article no e1001792. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001792>
105. Tardif E., Doudin P.-A., Meylan N. (2015) Neuromyths among Teachers and Student Teachers. *Mind, Brain, and Education*, vol. 9, no 1, pp. 50–59. <https://doi.org/10.1111/mbe.12070>
106. Tikidji-Hamburyan R.A., Kropat E., Weber G.W. (2020) Preface: Operations Research in Neuroscience II. *Annals of Operations Research*, vol. 289, no 1, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03574-z>
107. Thomas M.S.C. (2013) Educational Neuroscience in the Near and Far Future: Predictions from the Analogy with the History of Medicine. *Trends in Neuroscience and Education*, vol. 2, no 1, pp. 23–26. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2012.12.001>
108. Thomas M.S.C., Ansari D., Knowland V.C.P. (2019) Annual Research Review: Educational Neuroscience: Progress and Prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, vol. 60, no 4, pp. 477–492. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12973>
109. Thompson J.M., Leong V., Goswami U. (2013) Auditory Processing Interventions and Developmental Dyslexia: A Comparison of Phonemic and Rhythmic Approaches. *Reading and Writing*, vol. 26, no 2, pp. 139–161. <https://doi.org/10.1007/s11145-012-9359-6>
110. Thorndike E.L. (1913) *Educational Psychology. Vol. 1. The Original Nature of Man*. New York, NY: Columbia University. <https://doi.org/10.1037/13763-000>
111. Wanalee K., Katz R., Vallée A.L. (2015) Basic Principles of Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) and Repetitive TMS (rTMS). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, vol. 58, no 4, pp. 208–213. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2015.05.005>

112. Wazny J.H., Nathan-Roberts D. (2018) Real-Time Cognitive-State Neuroimaging in Applied Education. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 62, no 1, pp. 1157–1161. Los Angeles, CA: Sage. <https://doi.org/10.1177/15419312186212>
113. Williamson B. (2019) Brain Data: Scanning, Scraping and Sculpting the Plastic Learning Brain through Neurotechnology. *Postdigital Science and Education*, vol. 1, no 1, pp. 65–86. <https://doi.org/10.1007/s42438-018-0008-5>
114. Willingham D.T. (2018) Unlocking the Science of How Kids Think: A New Proposal for Reforming Teacher Education. *Education Next*, vol. 18, no 3, pp. 42–49.
115. Willingham D.T. (2009) Three Problems in the Marriage of Neuroscience and Education. *Cortex*, vol. 45, no 4, pp. 544–545. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.05.009>
116. Wininger S.R., Redifer J.L., Norman A.D., Ryle M.K. (2019) Prevalence of Learning Styles in Educational Psychology and Introduction to Education Textbooks: A Content Analysis. *Psychology Learning & Teaching*, vol. 18, no 3, pp. 221–243. <https://doi.org/10.1177/1475725719830301>
117. Xu J., Zhong B. (2018) Review on Portable EEG Technology in Educational Research. *Computers in Human Behavior*, vol. 81, December, pp. 340–349. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.037>
118. Zull J.E. (2020) *The Art of Changing the Brain: Enriching the Practice of Teaching by Exploring the Biology of Learning*. Sterling, VA: Stylus.

References

- Alloway T.P., Alloway R.G. (2014) *Understanding Working Memory*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Amso D., Scerif G. (2015) The Attentive Brain: Insights from Developmental Cognitive Neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 16, no 10, pp. 606–619. <https://doi.org/10.1038/nrn4025>
- Baars B.J. (1997) In the Theatre of Consciousness. Global Workspace Theory, a Rigorous Scientific Theory of Consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, vol. 4, no 4, pp. 292–309.
- Bazhanov V.A., Shkurko Yu.S. (2018) Sovremennaya nejronauka i obrazovanie: novye argumenty v pol'zu staryh priemov [Modern Neuroscience and Education: New Arguments in Favor of Old Techniques]. *Pedagogika*, no 8, pp. 29–38.
- Bastarrika A., Davidson D. (2017) An Event Related Field Study of Rapid Grammatical Plasticity in Adult Second-Language Learners. *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 11, January, Article no 12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00012>
- Beauchamp C., Beauchamp M.H. (2013) Boundary as Bridge: An Analysis of the Educational Neuroscience Literature from a Boundary Perspective. *Educational Psychology Review*, vol. 25, no 1, pp. 47–67. <https://doi.org/10.1007/s10648-012-9207-x>
- Bernacki M.L., Walkington C. (2018) The Role of Situational Interest in Personalized Learning. *Journal of Educational Psychology*, vol. 110, no 6, pp. 864–881. <https://doi.org/10.1037/edu0000250>
- Bowers J.S. (2016a) Psychology, Not Educational Neuroscience, Is the Way Forward for Improving Educational Outcomes for All Children: Reply to Gabrieli (2016) and Howard-Jones et al. (2016). *Psychological Review*, vol. 123, no 5, pp. 628–635. <https://doi.org/10.1037/rev0000043>
- Bowers J.S. (2016b) The Practical and Principled Problems with Educational Neuroscience. *Psychological Review*, vol. 123, no 5, pp. 600–612. <https://doi.org/10.1037/rev0000025>
- Brockington G., Balardin J.B., Morais G., Malheiros A., Lent R., Moura L., Sato J.R. (2018) From the Laboratory to the Classroom: The Potential of Functional Near-Infrared Spectroscopy in Educational Neuroscience. *Frontiers in Psychology*, vol. 9, October, Article no 1840. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01840>

- Brookman-Byrne A., Thomas M.S.C. (2018) Neuroscience, Psychology and Education: Emerging Links. *Impact*, no 2, pp. 5–8.
- Bruce C.D., Davis B., Sinclair N., McGarvey L., Hallowell D., Drefs M., Francis K. et al. (2017) Understanding Gaps in Research Networks: Using “Spatial Reasoning” as a Window into the Importance of Networked Educational Research. *Educational Studies in Mathematics*, vol. 95, no 2, pp. 143–161. <https://www.jstor.org/stable/45184558>
- Bruel-Jungerman E., Davis S., Laroche S. (2007) Brain Plasticity Mechanisms and Memory: A Party of Four. *The Neuroscientist*, vol. 13, no 5, pp. 492–505. <https://doi.org/10.1177/107385840730>
- Bruer J.T. (1997) Education and the Brain: A Bridge Too Far. *Educational Researcher*, vol. 26, no 8, pp. 4–16. <https://doi.org/10.3102/0013189X026008004>
- Budgen S., DeWind N.K., Brannon E.M. (2016) Using Cognitive Training Studies to Unravel the Mechanisms by Which the Approximate Number System Supports Symbolic Math Ability. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, vol. 10, May, pp. 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.05.002>
- Budson A.E., Richman K.A., Kensinger E.A. (2022) Consciousness as a Memory System. *Cognitive and Behavioral Neurology*, vol. 35, no 4, pp. 263–297. <https://doi.org/10.1097/WNN.0000000000000319>
- Bukina T.V., Khramova M.V., Kurkin S.A. (2021) Sovremennyye issledovaniya funktsionirovaniya mozga detej mladshogo shkol'nogo vozrasta v protsesse obucheniya: obzor [Modern Research on Primary School Children Brain Functioning in the Learning Process: Review]. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*, vol. 29, no 3, pp. 449–456. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2021-29-3-449-456>
- Bulger M. (2016) *Personalized Learning: The Conversations We're Not Having*. Data & Society Research Institute Working Paper 07.22.2016. Available at: https://www.datasociety.net/pubs/ecl/PersonalizedLearning_primer_2016.pdf (accessed 20 June 2023).
- Butterworth B., Varma S. (2013). Mathematical Development. *Educational Neuroscience* (eds D. Mareschal, B. Butterworth, A. Tolmie), Oxford, UK: Wiley Blackwell, pp. 201–236.
- Caligiore D., Arbib M.A., Miall R.C., Baldassarre G. (2019) The Super-Learning Hypothesis: Integrating Learning Processes across Cortex, Cerebellum and Basal Ganglia. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, vol. 100, February, pp. 19–34. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.02.008>
- Caligiore D., Pezzulo G., Baldassarre G., Bostan A.C., Strick P.L., Doya K. et al. (2017) Consensus Paper: Towards a Systems-Level View of Cerebellar Function: The Interplay between Cerebellum, Basal Ganglia, and Cortex. *The Cerebellum*, vol. 16, no 1, pp. 203–229. <https://doi.org/10.1007/s12311-016-0763-3>
- Chandler J.A., Harrel N., Potkonjak T. (2019) Neurolaw Today — A Systematic Review of the Recent Law and Neuroscience Literature. *International Journal of Law and Psychiatry*, vol. 65, no 1, Article no 101341. <https://doi.org/10.1016/j.ijlp.2018.04.002>
- Clement N.D., Lovat T. (2012) Neuroscience and Education: Issues and Challenges for Curriculum. *Curriculum Inquiry*, vol. 42, no 4, pp. 534–557. <https://doi.org/10.1111/j.1467-873X.2012.00602.x>
- Daley N., Rawson A.K. (2019) Elaborations in Expository Text Impose a Substantial Time Cost but Do Not Enhance Learning. *Educational Psychology Review*, vol. 31, no 2, pp. 197–222. <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9451-9>
- De Brigard F., Sinnott-Armstrong W. (eds) (2022) *Neuroscience and Philosophy*. Cambridge, MA; London, England: MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/12611.001.0001>
- Davidesco I., Matuk C., Bevilacqua D., Poeppel D., Dikker S. (2021) Neuroscience Research in the Classroom: Portable Brain Technologies in Education Research. *Educational Researcher*, vol. 50, no 9, pp. 649–656. <https://doi.org/10.3102/0013189X211031563>

- Dimitropoulos K., Mystakidis S., Fragkaki M. (2022) Bringing Educational Neuroscience to Distance Learning with Design Thinking: The Design and Development of a Hybrid E-learning Platform for Skillful Training. *Proceedings of the 2022 7th South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (Ioannina, Greece, September 23–25, 2022)*, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/SEEDA-CECNM57760.2022.9932939>
- Donaldson K., Tran L., Jimenez L.A., Duffin R., Newby D.E. et al. (2005) Combustion-Derived Nanoparticles: A Review of Their Toxicology Following Inhalation Exposure. *Particle and Fibre Toxicology*, vol. 2, no 1, Article no 10. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-2-10>
- Doukakis S., Alexopoulos E.C. (2021) The Role of Educational Neuroscience in Distance Learning. Knowledge Transformation Opportunities. *Proceedings of the International Conference on Interactive Collaborative and Blended Learning (Hamilton, Canada, October 14–16, 2020)*, Cham: Springer, pp. 159–168. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67209-6_18
- Drugova E.A., Zhuravleva I.I., Zakharova U.S., Sotnikova V.E., Yakovleva K.I. (2022) Iskusstvenny intellect dlya uchebnoy analitiki i etapy pedagogicheskogo proektirovaniya: obzor resheniy [Artificial Intelligence for Learning Analytics and Instructional Design Steps: An Overview of Solutions]. *Voprosy obrazovaniya / Educational Studies Moscow*, no 4, pp. 107–153. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2022-4-107-153>
- Dunlosky J., Rawson K.A., Marsh E.J., Nathan M.J., Willingham D.T. (2013) Improving Students' Learning with Effective Learning Techniques: Promising Directions from Cognitive and Educational Psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, vol. 14, no 1, pp. 4–58. <https://doi.org/10.1177/1529100612453266>
- Feiler J.B., Stabio M.E. (2018) Three Pillars of Educational Neuroscience from Three Decades of Literature. *Trends in Neuroscience and Education*, vol. 13, November, pp. 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2018.11.001>
- Ferrari M., Quaresima V. (2012) A Brief Review on the History of Human Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) Development and Fields of Application. *Neuroimage*, vol. 63, no 2, pp. 921–935. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.03.049>
- Filler A. (2010) The History, Development and Impact of Computed Imaging in Neurological Diagnosis and Neurosurgery: CT, MRI, and DTI. *The Internet Journal of Neurosurgery*, vol. 7, no 1. <https://ispub.com/IJNS/7/1/12184>
- Flaugnacco E., Lopez L., Terribili C., Montico M., Zois S., Schön D. (2015) Music Training Increases Phonological Awareness and Reading Skills in Developmental Dyslexia: A Randomized Control Trial. *PLoS One*, vol. 10, no 9, Article no e0138715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138715>
- Frith C. (2013) *Making up the Mind: How the Brain Creates Our Mental World*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Goswami U. (2017) A Neural Basis for Phonological Awareness? An Oscillatory 'Temporal Sampling' Perspective. *Current Directions in Psychological Science*, vol. 27, June, pp. 56–63. <https://doi.org/10.1177/0963721417727520>
- Goswami U. (2016) Educational Neuroscience: Neural Structure-Mapping and the Promise of Oscillations. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, vol. 10, May, pp. 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.05.011>
- Goswami U. (2006) Neuroscience and Education: From Research to Practice? *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 7, no 5, pp. 406–413. <https://doi.org/10.1038/nnr1907>
- Han H., Soyulu F., Anchan D.M. (2019) Connecting Levels of Analysis in Educational Neuroscience: A Review of Multi-Level Structure of Educational Neuroscience with Concrete Examples. *Trends in Neuroscience and Education*, vol. 17, July, Article no 100113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tine.2019.100113>
- Hattie J. (2021) *Vidimoe obuchenie dlya uchiteley. Kak povysit' effektivnost' pedagogicheskoy raboty* [Visible Learning for Teachers. Maximizing Impact on Learning]. Moscow: Natsional'noe obrazovanie.

- Hille K. (2011) Bringing Research into Educational Practice: Lessons Learned. *Mind, Brain, and Education*, vol. 5, no 2, pp. 63–70. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2011.01111.x>
- Hirsh-Pasek K., Bruer J.T. (2007) The Brain/Education Barrier. *Science*, vol. 317, no 5843, pp. 1293–1293. <https://doi.org/10.1126/science.1148983>
- Hoefl F., McCandliss B.D., Black J.M., Gantman A., Zakerani N., Hulme C. et al. (2011) Neural Systems Predicting Long-Term Outcome in Dyslexia. *PNAS*, vol. 108, no 1, pp. 361–366. <https://doi.org/10.1073/pnas.1008950108>
- Howard-Jones P. (2014) Neuroscience and Education: Myths and Messages. *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 15, no 2, pp. 817–824. <https://doi.org/10.1038/nrn3817>
- Howard-Jones P., Varma S., Ansari D., Butterworth B., De Smedt B., Goswami U., Thomas M.S.C. (2016) The Principles and Practices of Educational Neuroscience: Commentary on Bowers (2016). *Psychological Review*, vol. 123, no 5, pp. 620–627. <https://doi.org/10.1037/rev0000036>
- Hramov A.E., Frolov N.S., Maksimenko V.A., Kurkin S.A., Kazantsev V.B., Pisarchik A.N. (2021a) Funktsional'nye seti golovnogo mozga: ot vosstanovleniya svyazey do dinamicheskoy integratsii [Functional Networks of the Brain: From Connectivity Restoration to Dynamic Integration]. *Physics — Uspekhi*. vol. 64, no 6, pp. 584–616. <https://doi.org/10.3367/UFNe.2020.06.038807>
- Hramov A.E., Maksimenko V.A., Frolov N.S., Kurkin S.A., Grubov V.V., Badarin A.A. et al. (2021b) Monitoring sostoyaniya golovnogo mozga cheloveka v zadachakh prinyatiya resheniy pri vospriyatii stimulov [Human Brain State Monitoring in Perceptual Decision-Making Tasks]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Applied Nonlinear Dynamics*, vol. 29, no 4, pp. 603–634. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2021-29-4-603-634>
- Hramov A.E., Maksimenko V.A., Pisarchik A.N. (2021) Physical Principles of Brain-Computer Interfaces and Their Applications for Rehabilitation, Robotics and Control of Human Brain States. *Physics Reports*, vol. 918, no 6, pp. 1–133. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2021.03.002>
- Hruby G.G., Goswami U. (2018) Educational Neuroscience for Reading Researchers. *Theoretical Models and Processes of Literacy* (eds D.E. Alvermann, N.J. Unrau, M. Sailors, R.B. Ruddell), New York, NY: Routledge, pp. 252–277. <https://doi.org/10.4324/9781315110592>
- Jiang F., VanDyke R.D., Zhang J., Li F., Gozal D., Shen X. (2011) Effect of Chronic Sleep Restriction on Sleepiness and Working Memory in Adolescents and Young Adults. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, vol. 33, no 8, pp. 892–900. <https://doi.org/10.1080/13803395.2011.570252>
- Karpov O.E., Hramov A.E. (2022) *Informatsionnye tekhnologii, vychislitel'nye sistemy i iskusstvennyj intellekt v medicine* [Information Technologies, Computing Systems and Artificial Intelligence in Medicine]. Moscow: DPK Press.
- Kedia G., Harris L., Lelieveld G.-J., van Dillen L. (2017) From the Brain to the Field: The Applications of Social Neuroscience to Economics, Health and Law. *Brain Sciences*, vol. 7, no 8, Article no 94. <https://doi.org/10.3390/brainsci7080094>
- Khranova M.V., Kuc A.K., Maksimenko V.A., Frolov N.S., Grubov V.V., Kurkin S.A. et al. (2021) Monitoring the Cortical Activity of Children and Adults during Cognitive Task Completion. *Sensors*, vol. 21, no 18, Article no 6021. <https://doi.org/10.3390/s21186021>
- Klemantovich I.P., Levanova E.A., Stepanov V.G. (2016) Nejropedagogika: novaya otrasl' nauchnykh znaniy [Neuropedagogy: A New Branch of Scientific Knowledge]. *Pedagogika i psikhologiya obrazovaniya / Pedagogy and Psychology of Education*, no 2, pp. 8–17.
- Klöckner C.A., Verplanken B. (2018) Yesterday's Habits Preventing Change for Tomorrow? About the Influence of Automaticity on Environmental Behaviour. *Environmental Psychology: An Introduction* (eds L. Steg, J.I.M. de Groot), Oxford: Wiley-Blackwell, pp. 238–250. <https://doi.org/10.1002/9781119241072.ch24>

- Knowland V.C.P., Thomas M. (2014) Educating the Adult Brain: How the Neuroscience of Learning Can Inform Educational Policy. *International Review of Education*, vol. 60, no 1, pp. 99–122. <https://doi.org/10.1007/s11159-014-9412-6>
- Koelsch S. (2012) *The Brain and Music*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Kostromina S.N., Bordovskaya N.V., Iskra N.N., Chuvgunova O.A., Gnedykh D.S., Kurmakaeva D.M. (2015) Neironauka, psikhologiya i obrazovanie: problemy i perspektivy mezhdistitsiplinarnykh issledovaniy [Neuroscience, Psychology and Education: Problems and Prospects for Interdisciplinary Studies]. *Psychological Journal*, vol. 36, no 4, pp. 61–70.
- Koziol L.F., Budding D.E., Chidekel D. (2011) Sensory Integration, Sensory Processing, and Sensory Modulation Disorders: Putative Functional Neuroanatomic Underpinnings. *The Cerebellum*, vol. 10, no 4, pp. 770–792. <https://doi.org/10.1007/s12311-011-0288-8>
- Krueger F., Meyer-Lindenberg A. (2019) Toward a Model of Interpersonal Trust Drawn from Neuroscience, Psychology, and Economics. *Trends in Neurosciences*, vol. 42, no 2, pp. 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2018.10.004>
- Kulikova O.V. (2014) Nejrodidakticheskiy podkhod kak faktor povysheniya kachestva obucheniya inoyazychnomu professional'nomu obshcheniyu [The Neurodidactic Approach as a Factor of Quality Improvement: Teaching Professional Communication in Foreign Languages]. *Vestnik of Moscow State Linguistic University: Education and Teaching*, no 14 (700), pp. 107–114.
- Kurkin S.A., Grubov V.V., Maksimenko V.A., Pitsik E.N., Khramova M.V., Hramov A.E. (2020) Sistema dlya kontrolya i korrektyrovki protsessa obucheniya mladshikh shkol'nikov na baze analiza dannykh EEG [System for Monitoring and Adjusting the Learning Process of Primary Schoolchildren Based on EEG Data Analysis]. *Information and Control Systems*, no 5 (108), pp. 50–61. <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2020-5-50-61>
- Lau-Zhu A., Lau M.P.H., McLoughlin G. (2019) Mobile EEG in Research on Neurodevelopmental Disorders: Opportunities and Challenges. *Developmental Cognitive Neuroscience*, vol. 36, March, Article no 100635. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2019.100635>
- Lăzăroiu G., Pera A., Ștefănescu-Mihăilă R.O., Mircică N., Neguriță O. (2017) Can Neuroscience Assist Us in Constructing Better Patterns of Economic Decision-Making? *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, vol. 11, October, Article no 188. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2017.00188>
- Leisman G. (2023) Neuroscience in Education: A Bridge Too Far or One That Has Yet to Be Built: Introduction to the “Brain Goes to School”. *Brain Sciences*, no 13, Article no 40. <https://doi.org/10.3390/brainsci13010040>
- LeDoux J.E. (1993) Emotional Memory Systems in the Brain. *Behavioural Brain Research*, vol. 58, no 1-2, pp. 69–79. [https://doi.org/10.1016/0166-4328\(93\)90091-4](https://doi.org/10.1016/0166-4328(93)90091-4)
- Liu T., Liu X., Yi L., Zhu C., Markey P.S., Pelowski M. (2019) Assessing Autism at Its Social and Developmental Roots: A Review of Autism Spectrum Disorder Studies Using Functional Near-Infrared Spectroscopy. *Neuroimage*, vol. 185, January, pp. 955–967. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.09.044>
- Lo J.C., Ong J.L., Leong R.L., Gooley J.J., Chee M.W. (2016) Cognitive Performance, Sleepiness, and Mood in Partially Sleep Deprived Adolescents: The Need for Sleep Study. *Sleep*, vol. 39, no 3, pp. 687–698. <https://doi.org/10.5665/sleep.5552>
- Maksimenko V.A., Runnova A.E., Zhuravlev M.O., Protasov P., Kulanin R., Khramova M.V., Pisarchik A.N., Hramov A.E. (2018) Human Personality Reflects Spatio-Temporal and Time-Frequency EEG Structure. *PLoS One*, vol. 13, no 9, Article no e0197642. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197642>
- Malsagov A.A., Lezina V.V. (2021) Nejrodidaktika v Rossii: razvitie i perspektivy [Neurodidactics in Russia: Development and Prospects]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*, no 4 (89), pp. 149–151. <https://doi.org/10.24412/1991-5497-2021-489-149-151>

- Mareschal D., Johnson M., Sirios S., Spratling M., Thomas M.S.C., Westermann G. (2007) *Neuroconstructivism: How the Brain Constructs Cognition*. Oxford: Oxford University.
- Markowitsch H.J., Welzer H. (2009) *The Development of Autobiographical Memory*. New York, NY: Psychology Press.
- Menon V. (2016) Working Memory in Children's Math Learning and Its Disruption in Dyscalculia. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, vol. 10, June, pp. 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.05.014>
- Mercer N. (2000) *Words and Minds: How We Use Language to Think Together*. London: Routledge.
- Miozzo M., Pulvermuller F., Hauk O. (2015) Early Parallel Activation of Semantics and Phonology in Picture Naming: Evidence from a Multiple Linear Regression MEG Study. *Cereb Cortex*, vol. 25, no 10. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhu137>
- Newcombe N.S. (2016) Thinking Spatially in the Science Classroom. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, vol. 10, August, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.04.010>
- Oberman L.M., Ramachandran V.S. (2007) The Simulating Social Mind: The Role of the Mirror Neuron System and Simulation in the Social and Communicative Deficits of Autism Spectrum Disorders. *Psychological Bulletin*, vol. 133, no 2, pp. 310–327. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.2.310>
- Park H.-J., Friston K. (2013) Structural and Functional Brain Networks: From Connections to Cognition. *Science*, vol. 342, no 6158, Article no 1238411. <https://doi.org/10.1126/science.1238411>
- Petersen S.E., Posner M.I. (2012) The Attention System of the Human Brain: 20 Years after. *Annual Review of Neuroscience*, vol. 35, no 1, pp. 73–89. <https://doi.org/10.1146%2Fannurev-neuro-062111-150525>
- Pisarchik A.N., Khorev V.S., Badarin A.A., Antipov V.M., Budarina A.O., Hramov A.E. (2023) Metodologiya dizajna nefrofiziologicheskikh eksperimentov s pred'yavleniem vizual'nykh stimulov dlya otsenki urovnya vladeniya inostrannym yazykom [Methodology of the Neurophysiological Experiments with Visual Stimuli to Assess Foreign Language Proficiency]. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*, vol. 31, no 2, pp. 202–224. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-003031>
- Pua E.P.K., Barton S., Williams K., Craig J.M., Seal M.L. (2020) Individualised MRI Training for Paediatric Neuroimaging: A Child-Focused Approach. *Developmental Cognitive Neuroscience*, vol. 41, no 1, Article no 100750. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2019.100750>
- Quaresima V., Ferrari M. (2019) A Mini-Review on Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS): Where Do We Stand, and Where Should We Go? *Photonics*, vol. 6, no 3, Article no 87. <https://doi.org/10.3390/photonics6030087>
- Rea S.D., Wang L., Muenks K., Yan V. (2022) Students Can (Mostly) Recognize Effective Learning, So Why Do They Not Do It? *Journal of Intelligence*, vol. 10, no 4, Article no 127. <https://doi.org/10.3390/jintelligence10040127>
- Roediger H.L. (2013) Applying Cognitive Psychology to Education: Translational Educational Science. *Psychological Science in the Public Interest*, vol. 14, no 1, pp. 1–3. <https://doi.org/10.1177/1529100612454415>
- Rohrer D., Pashler H. (2012) Learning Styles: Where's the Evidence? *Medical Education*, vol. 46, no 7, pp. 634–635. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2012.04273.x>
- Rueda M.R. (2018) Attention in the Heart of Intelligence. *Trends in Neuroscience and Education*, vol. 13, November, pp. 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2018.11.003>
- Ruiz-Ariza A., Grao-Cruces A., Marques de Loureiro N.E., Martínez-López E.J. (2017) Influence of Physical Fitness on Cognitive and Academic Performance in Adolescents: A Systematic Review from 2005–2015. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, vol. 10, no 1, pp. 108–133. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2016.1184699>

- Sala G., Fernand G. (2017) Does Far Transfer Exist? Negative Evidence from Chess, Music, and Working Memory Training. *Current Directions in Psychological Science*, vol. 26, no 6, pp. 515–520. <https://doi.org/10.1177/09637214177127>
- Salzman C. D., Fusi S. (2010) Emotion, Cognition, and Mental State Representation in Amygdala and Prefrontal Cortex. *Annual Review of Neuroscience*, vol. 33, no 1, pp. 173–202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.051508.135256>
- Sianipar A., Middelburg R., Dijkstra T. (2015) When Feelings Arise with Meanings: How Emotion and Meaning of a Native Language Affect Second Language Processing in Adult Learners. *PLoS One*, vol. 10, no 12, Article no e0144576. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144576>
- Sigman M., Peña M., Goldin A., Riberio S. (2014) Neuroscience and Education: Prime Time to Build the Bridge. *Nature Neuroscience*, vol. 17, no 4, pp. 497–502. <https://doi.org/10.1038/nn.3672>
- Simons D.J., Boot W.R., Charness N., Gathercole S.E., Chabris C.F., Hambrick D.Z., Stine-Morrow E.A.L. (2016) Do “Brain-Training” Programs Work? *Psychological Science in the Public Interest*, vol. 17, no 3, pp. 103–186. <https://doi.org/10.1177/1529100616661983>
- Sisk V.F., Burgoyne A.P., Sun J., Butler J.L., Macnamara B.N. (2018) To What Extent and under which Circumstances Are Growth Mind-Sets Important to Academic Achievement? Two Meta-Analyses. *Psychological Science*, vol. 29, no 4, pp. 549–571. <https://doi.org/10.1177/0956797617739704>
- Shaw P., Watson M.M., Greenstein V., de Rossi P., Sharp W. (2013) Trajectories of Cerebral Cortical Development in Childhood and Adolescence and Adult Attention-Deficit / Hyperactivity Disorder. *Biological Psychiatry*, vol. 74, no 8, pp. 599–606. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2013.04.007>
- Skau S., Helenius O., Sundberg K., Bunketorp-Käll L., Kuhn H. G. (2022) Proactive Cognitive Control, Mathematical Cognition and Functional Activity in the Frontal and Parietal Cortex in Primary School Children: An fNIRS Study. *Trends in Neuroscience and Education*, vol. 28, no 10, Article no 100180. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2022.100180>
- Soltanlou M., Sitnikova M.A., Nuerk H., Dresler T. (2018) Applications of Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) in Studying Cognitive Development: The Case of Mathematics and Language. *Frontiers in Psychology*, vol. 9, April, Article no 277. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00277>
- Sonmez A.I., Camsari D.D., Nandakumar A.L., Vande Voort J.L., Kung S., Lewis C.P., Croarkin P.E. (2019) Accelerated TMS for Depression: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Psychiatry Research*, vol. 273, March, pp. 770–781. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2018.12.041>
- Soufneyestani M., Dowling D., Khan A. (2020) Electroencephalography (EEG) Technology Applications and Available Devices. *Applied Sciences*, vol. 10, no 21, Article no 7453. <https://doi.org/10.3390/app10217453>
- Stepanov V.G. (2020) *Nejropedagogika. Mozg i effektivnoe razvitie detey i vzroslykh: vozrast, obuchenie, tvorchestvo, proforientatsiya* [Brain and Effective Development of Children and Adults: Age, Learning, Creativity, Career Guidance]. Moscow: Akademicheskij proekt.
- Stojanoski B., Wild C.J., Battista M.E., Nichols E.S., Owen A.M. (2021) Brain Training Habits Are Not Associated with Generalized Benefits to Cognition: An Online Study of Over 1000 “Brain Trainers”. *Journal of Experimental Psychology: General*, vol. 150, no 4, pp. 729–738. <https://doi.org/10.1037/xge0000773>
- Sunyer J., Esnaola M., Alvarez-Pedrerol M., Fornis J., Rivas I. et al. (2015) Association between Traffic-Related Air Pollution in Schools and Cognitive Development in Primary School Children: A Prospective Cohort Study. *PLoS Medicine*, vol. 12, no 3, Article no e1001792. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001792>
- Tardif E., Doudin P.-A., Meylan N. (2015) Neuro-myths among Teachers and Student Teachers. *Mind, Brain, and Education*, vol. 9, no 1, pp. 50–59. <https://doi.org/10.1111/mbe.12070>

- Tikidji-Hamburyan R.A., Kropat E., Weber G.W. (2020) Preface: Operations Research in Neuroscience II. *Annals of Operations Research*, vol. 289, no 1, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1007/s10079-020-03574-z>
- Thomas M.S.C. (2013) Educational Neuroscience in the Near and Far Future: Predictions from the Analogy with the History of Medicine. *Trends in Neuroscience and Education*, vol. 2, no 1, pp. 23–26. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2012.12.001>
- Thomas M.S.C., Ansari D., Knowland V.C.P. (2019) Annual Research Review: Educational Neuroscience: Progress and Prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, vol. 60, no 4, pp. 477–492. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12973>
- Thompson J.M., Leong V., Goswami U. (2013) Auditory Processing Interventions and Developmental Dyslexia: A Comparison of Phonemic and Rhythmic Approaches. *Reading and Writing*, vol. 26, no 2, pp. 139–161. <https://doi.org/10.1007/s11145-012-9359-6>
- Thorndike E.L. (1913) *Educational Psychology. Vol. 1. The Original Nature of Man*. New York, NY: Columbia University. <https://doi.org/10.1037/13763-000>
- Vygotskij L.S. (1934) *Myshlenie i rech'* [Mind and Speech]. Leningrad: Gosudarstvennoe social'no-ekonomicheskoe izdatel'stvo.
- Wanalee K., Katz R., Vallée A.L. (2015) Basic Principles of Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) and Repetitive TMS (rTMS). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, vol. 58, no 4, pp. 208–213. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2015.05.005>
- Wazny J.H., Nathan-Roberts D. (2018) Real-Time Cognitive-State Neuroimaging in Applied Education. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 62, no 1, pp. 1157–1161. Los Angeles, CA: Sage. <https://doi.org/10.1177/15419312186212>
- Williamson B. (2019) Brain Data: Scanning, Scraping and Sculpting the Plastic Learning Brain through Neurotechnology. *Postdigital Science and Education*, vol. 1, no 1, pp. 65–86. <https://doi.org/10.1007/s42438-018-0008-5>
- Willingham D.T. (2018) Unlocking the Science of How Kids Think: A New Proposal for Reforming Teacher Education. *Education Next*, vol. 18, no 3, pp. 42–49.
- Willingham D.T. (2009) Three Problems in the Marriage of Neuroscience and Education. *Cortex*, vol. 45, no 4, pp. 544–545. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.05.009>
- Wininger S.R., Redifer J.L., Norman A.D., Ryle M.K. (2019) Prevalence of Learning Styles in Educational Psychology and Introduction to Education Textbooks: A Content Analysis. *Psychology Learning & Teaching*, vol. 18, no 3, pp. 221–243. <https://doi.org/10.1177/1475725719830301>
- Xu J., Zhong B. (2018) Review on Portable EEG Technology in Educational Research. *Computers in Human Behavior*, vol. 81, December, pp. 340–349. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.037>
- Zeer E.F. (2021) Neirodidaktika — innovatsionny trend personalizirovannogo obrazovaniya [Neurodidactics — an Innovative Trend of Personalised Education]. *Vocational Education and Labour Market*, no 4, pp. 30–38. <https://doi.org/10.52944/PORT.2021.47.4.002>
- Zull J.E. (2020) *The Art of Changing the Brain: Enriching the Practice of Teaching by Exploring the Biology of Learning*. Sterling, VA: Stylus.