

ЭМПИРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ / EMPIRICAL STUDIES

Научная статья / Research Article
<https://doi.org/10.11621/LPJ-24-29>
УДК/UDC 159.9.075; 159937.22

Мозговые механизмы формирования понятий на основе исключительно зрительной модальности

А.П. Каманюк ✉, А.В. Вартанов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
Российская Федерация

✉ ann.stka@yandex.ru

Резюме

Актуальность. Проблема формирования понятий в зрительной модальности остается в значительной степени не изученной. Существует множество исследований о формировании вербальных понятий в процессе обучения. Однако не до конца ясно, как происходит формирование понятий в условиях, когда и обозначаемое, и обозначающее (знак) представлены только в зрительной модальности, какие мозговые механизмы участвуют в этом процессе.

Целью работы было выявить на основе регистрации ЭЭГ с последующей локализацией источников электрической активности мозговые механизмы формирования визуальных понятий, а также оценить возможность актуализации процесса косвенного обучения при формировании визуальных понятий.

Выборка. 26 русскоязычных испытуемых без неврологических нарушений: 10 мужчин и 16 женщин в возрасте от 18 до 40 лет ($M_{\text{возраст}} = 22,92$, $SD = 6,38$).

Методика. В качестве знака выступали китайские иероглифы, не знакомые испытуемым, а в качестве обозначаемого — смайлики (схематичные лица, выражающие различные эмоции), всего 10 пар стимулов знак — обозначаемое. Была проведена запись 19-канальной электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в трех последовательных сериях: 1) начальное восприятие иероглифических знаков без придания им категории; 2) категоризация данных знаков в процессе ассоциативного обучения, при этом только 8 обозначающих стимулов-знаков прямо ассоциировались с обозначаемым стимулом, тогда

как 2 стимула-знака ни разу не сопоставлялось со стимулом-обозначением, их значение формировалось косвенно; 3) последующее восприятие знаков уже с присвоенным им значением. Все стимулы были представлены испытуемым визуально.

Для обработки и анализа собранных данных ЭЭГ был применен новый метод локализации мозговой активности — «Виртуально вживленный электрод», разработанный А.В. Вартановым (патент RU № 2 785 268).

Результаты. Анализ ответов испытуемых показал, что в процессе обучения всем знакам (в том числе формируемым косвенно) было присвоено определенное значение (обозначаемое). Обнаружены различия в связанных с событием потенциалах (ССП) в отведениях СЗ и CZ. Выявлены значимые различия в ССП в результате обучения в ряде мозговых структур. Обнаружено, что ряд функциональных связей между левой областью вторичной зрительной коры и правой частью мозжечка существенно изменился в результате обучения.

Выводы. Формирование зрительных категорий обеспечивается содружественной работой правой части мозжечка, парагиппокампальной извилины и первичной зрительной корой, что подтверждается обнаруженными различиями соответствующих ССП.

Ключевые слова: формирование понятий, ассоциативное обучение, косвенное обучение, зрительное распознавание слов, вызванные потенциалы, ЭЭГ

Для цитирования: Каманюк, А.П., Вартанов, А.В. (2024). Мозговые механизмы формирования понятий на основе исключительно зрительной модальности. *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*, 47(3), 56–84. <https://doi.org/10.11621/LPJ-24-29>

Brain Mechanisms for Concept Formation Based Exclusively on the Visual Modality

Anna P. Kamaniuk ✉, Alexander V. Vartanov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

✉ ann.stka@yandex.ru

Abstract

Background. The problem of concept formation in the visual modality remains largely unexplored. There are many studies on the formation of verbal concepts in the learning process. However, it has not yet been fully investigated how concept

formation occurs in conditions when both the signified and the signifier (sign) are represented only in the visual modality and what brain mechanisms are involved in this process.

Objectives. The aim of the present work was to identify the brain mechanisms of visual concepts formation, on the basis of EEG registration with subsequent localization of the sources of electrical activity. Another task is to evaluate the possibility of actualizing the process of indirect learning in the formation of visual concepts.

Study Participants. 26 Russian-speaking subjects without neurological disorders: 10 males and 16 females (aged 18 to 40 years, mean age 22.92 years, SD = 6.38) participated in the study.

Methods. Chinese hieroglyphs, unfamiliar to the subjects, were taken as signs. The designated ones were emoticons (schematic faces expressing various emotions). A total of 10 pairs of stimuli sign-designated were presented. A 19-channel electroencephalogram (EEG) was recorded in three successive series: 1) the initial perception of hieroglyphic signs without assigning them a category; 2) categorization of these signs in the process of associative learning, with only 8 designating stimuli-signs directly associated with the designated stimulus, while 2 stimuli-signs were never associated with the stimulus-designator, their meaning was established indirectly; 3) subsequent perception of signs with the meaning already assigned to them. All stimuli were presented to the subjects visually.

A new method of localization of brain activity, “Virtually implanted electrode”, developed by A.V. Vartanov (patent RU No. 2 785 268) was applied.

Results. The analysis of the subjects’ responses showed that during the learning process all signs (including those formed indirectly) were assigned a certain meaning (designated). Differences in event-related potentials (ERP) were found in leads C3 and CZ. Significant differences in ERP as a result of learning were revealed in a number of brain structures. It was found that a number of functional connections between the left area of the secondary visual cortex and the right part of the cerebellum changed significantly as a result of learning.

Conclusions. The development of visual categories is ensured by the coordinated work of the right part of the cerebellum, parahippocampal gyrus and primary visual cortex, which is confirmed by the discovered differences in the corresponding ERPs.

Keywords: concept formation, associative learning, indirect learning, visual word recognition, event related potentials, EEG

For citation: Kamaniuk, A.P., Vartanov, A.V. (2024). Brain mechanisms for concept formation based exclusively on the visual modality. *Lomonosov Psychology Journal*, 47(3), 56–84. <https://doi.org/10.11621/LPJ-24-29>

Введение

Процесс формирования понятий — это фундаментальный когнитивный процесс, который заключается в выделении существенных и несущественных признаков объекта, их обобщении и отнесении их к определенной категории. В случае с понятиями должна сформироваться взаимосвязь между знаком (означающим) и значением (означаемым).

Значение является единицей сознания, мышления и речи и, по Л.С. Выготскому, связывает общение и обобщение (Выготский, 1982). Под значением в первую очередь обычно понимается совокупность признаков реального объекта, служащих для классификации, упорядочивания объектов, явлений, событий окружающей действительности, а под понятием — такая форма значения, в которой выделены существенные признаки, структура которых иерархически упорядочена (Петренко, 1983). Путем многократных мыслительных обобщений формируются понятия, которые отражают общие и существенные свойства предметов и явлений.

Сознание взрослого человека оперирует не только вербальными, но и невербальными понятиями (Петренко, 2010), которые возникают даже раньше вербальных. Формирование понятий связано с когнитивными процессами: восприятием, вниманием, памятью, мышлением и речью.

К наиболее известным методам формирования понятий относятся методики Выготского — Сахарова (Выготский, 1982) и Дж. Брунера (Брунер, 1977), важную роль в которых играет процесс ассоциирования означающего и означаемого. Однако существует и феномен косвенного обучения, в процессе которого понятие формируется не за счет прямой ассоциации, а косвенно, за счет того, что возникает перенос с уже существующих категорий на похожие категории (Вартанов, Матвиенко, 2017). Косвенное обучение — это процесс формирования понятий путем возникновения глобального соответствия (в локальной предметной области) всего множества объектов-знаков (обозначающих) со всем множеством обозначаемых объектов за счет поиска общих признаков соответствующих множеств и нахождения способа преобразования одной системы осей многомерного пространства признаков к другой системе путем поиска поворота системы координат.

Одним из механизмов, который играет важную роль в формировании понятий и категоризации в визуальной модальности, является

процесс связывания признаков, таких как цвет, форма и текстура, в единый воспринимаемый объект. Этот процесс важен для распознавания объектов и их классификации на основе их характеристик. При восприятии и проговаривании письменных знаков процесс начинается с кодирования визуальных паттернов объекта, когда сигнал через сетчатку поступает в латеральные колленчатые ядра, затем — в затылочную кору, после чего передается в угловую извилину, в область VWFA (visual word form area), и лишь затем активируется область Вернике, где хранятся слуховые образы слов, и область Брока, где выбираются артикуляционные паттерны для проговаривания слов и активируется моторная кора, запускающая работу речевого аппарата (Dehaene, 2009).

Объединение невербальных и вербальных репрезентаций, связанных с определенными объектами, зависит от посреднического механизма в левой передней височной коре. Этот механизм способствует воссозданию формы слова на основе понятия или, наоборот, воссозданию понятия объекта на основе формы слова (Koch, Davis, 1994).

Также в процессе формирования понятий может участвовать гиппокамп, отвечающий за консолидацию информации, и миндалина, влияющая на запоминание и эмоциональную обработку информации, а области Бродмана 32 и 25, передний островок и орбитальная лобная кора участвуют в принятии решений, планировании и контроле поведения.

Недавние исследования с ЭЭГ показали, что область V4 у человека отвечает за восприятие цвета, а область V8 (VO1) — за восприятие формы. Область VO2, расположенная между этими областями и парагиппокампальной корой, интегрирует информацию о цвете и форме раздражителей в целостный образ (Kozlovskiy, Rogachev, 2021). VO1 и VO2 участвуют в ранних стадиях визуальной обработки информации, способствуя выделению основных признаков и начальному распознаванию формы.

Множество исследователей утверждают, что чтение систематически активирует левую латеральную затылочно-височную борозду в области, известной как область зрительной словоформы VWFA (Hannagan et al., 2015; Glezer et al., 2009; Gaillard et al., 2006). Поражения VWFA вызывают чистую алексию — избирательный дефицит распознавания слов.

Исследования памяти с помощью электрической стимуляции мозга (EBS — electrical brain stimulation) обнаружили, что семанти-

ческие и эпизодические зрительные воспоминания были индуцированы EBS парагиппокампальной извилины, миндалевидного тела и гиппокампа (Curot et al., 2017).

Взаимосвязь между понятиями, представленными в визуальной и слуховой модальностях, изучалась в контексте речи глухих — языка жестов. Развитие в условиях сенсорной недостаточности у слабослышащих и слабослышащих имеет свои особенности. Слабослышащие и незрячие люди в основном воспринимают речь на слух — за эмоции отвечают интонационные компоненты речи. У них плохая артикуляция и отсутствует восприятие жестов. Функциональные исследования показывают, что невизуальные стимулы, включая тактильную обработку, такую как чтение шрифтом Брайля, а также прослушивание слов и звуков (Burton et al., 2002; Poirier et al., 2006; Röder et al., 2002; Sadato et al., 1996), активируют зрительную кору у слепых субъектов. Эта перекрестная активация областей мозга, наблюдаемая некоторыми авторами, может объяснить возможное усиление остальных чувств, таких как усиление тактильной чувствительности (Levänen, Hamdorf, 2001) и навыков периферического зрения (Loge, Song, 1991) у слабослышащих, повышенную тактильную чувствительность (Goldreich, Kanics, 2003), различение высоты звука (Gougoux et al., 2004) и локализацию звука (Röder et al., 1999) у незрячих людей.

В то же время слабослышащие люди воспринимают речь при помощи зрительного анализатора, который обеспечивает им восприятие языка жестов и письменных знаков. Речевая коммуникация у лиц с нарушением слуха осуществляется при помощи невербальных средств коммуникации, таких как письменная речь, артикуляция, мимика и жестикация. Отсутствие слухового восприятия и использование языка жестов влияет на структуру мозга у глухих, что также приводит к структурным изменениям в лобной, зрительной и других областях мозга. Функциональные исследования показывают, что слуховая кора у испытуемых может реорганизоваться для обработки других типов информации, например зрительной (Finney et al., 2003; 2001; Vachon et al., 2013), вибротактильной (Levänen et al., 1998), соматосенсорных стимулов (Karns et al., 2012), а также для понимания и воспроизведения языка жестов (Hu et al., 2011; Neville et al., 1998; Sadato et al., 2004). Моторная функции речи может формироваться без способности к слуху при помощи зрительного чтения по губам.

Несмотря на значительное количество исследований, все еще остаются актуальными проблемы понимания нейронного субстрата,

лежащего в основе формирования понятий при помощи зрительного анализатора, а также его места в системе ассоциативных связей между слуховой и зрительной модальностью.

Данное исследование посвящено двум основным проблемам: первая проблема связана с возможностью формирования понятий чисто в зрительной модальности, а также с косвенным формированием понятий. Вторая проблема связана с возможностью локализации источников активности по данным скальповой ЭЭГ. Метод ЭЭГ имеет преимущество перед МРТ по временному разрешению, но пространственное разрешение до настоящего времени существенно уступало по точности и надежности методу фМРТ.

Однако недавно был разработан новый способ надежной реконструкции электрической активности различных (в том числе и глубинных) структур мозга (Vartanov, 2022; Вартанов, 2023). Это открывает возможность получить новые, более детальные данные о мозговых механизмах формирования понятий.

Цель данного исследования заключается в выявлении на основе регистрации ЭЭГ с последующей локализацией источников электрической активности новым методом мозговых механизмов формирования визуальных понятий, а также в оценке возможностей актуализации процесса косвенного обучения при формировании визуальных понятий.

Экспериментальный план

В качестве основного способа формирования искусственных понятий в данной работе стало использование простого ассоциированного обучения при формировании искусственных понятий на базе зрительных стимулов, когда и обозначающее (знак), и обозначаемое представлены в виде зрительных стимулов. Такой метод является наиболее простым и удобным с точки зрения ЭЭГ экспериментом, который позволяет при этом производить количественную оценку степени сформированности понятия и проводить косвенное обучение. Исследование предполагает проведение 3 этапов (серий).

1. Регистрация связанных с событиями потенциалов (ССП) при предъявлении «неосмысленных» стимулов-объектов — зрительных стимулов до проведения обучения.

2. Обучение путем формирования без обратной связи ассоциаций между двумя наборами зрительных стимулов, но при этом не все

стимулы — будущие знаки — прямо ассоциированы со стимулами — обозначаемыми (см. раздел «Процедура эксперимента»). Обучение проводится в несколько проб с контролем после каждой обучающей пробы, когда испытуемый должен дать ответ, каким именно стимулом-знаком из набора обозначается данный объект. При этом при проверке использовалось больше объектов, чем в серии обучения, то есть существовали объекты, с которыми никогда не был ассоциирован никакой объект-знак, но испытуемому предлагалось найти для такого объекта-обозначаемого определенный объект-знак. Результаты ответов в виде кривой обучения могут служить доказательством косвенного формирования понятия.

3. Итоговая проверочная серия с регистрацией ССП тех же стимулов-объектов, что и в серии 1, но после обучения.

Такая схема эксперимента, регистрация ССП, а также применение нового способа локализации мозговой активности по данным ЭЭГ позволяют сопоставить характеристики процесса восприятия зрительного стимула до и после его означивания.

Выборка

В исследовании приняли участие 26 русскоязычных испытуемых без неврологических нарушений: 10 мужчин и 16 женщин (в возрасте от 18 до 40 лет, средний возраст — 22,92 года, $SD = 6,38$). Все испытуемые дали добровольное информированное согласие на участие в эксперименте: условия его проведения соответствуют Хельсинкской декларации об этике проведения экспериментов с человеком.

Методы исследования

Оборудование

Запись ЭЭГ проводилась с использованием 19-канального электроэнцефалографа Нейро-КМ. Electroды были расположены в соответствии с международной системой 10–20% с двумя мостоидами, полоса пропускания от 0,05 до 32 Гц, сопротивление электродов менее 10 Ом. Данные передавались на компьютер для последующей обработки. Для регистрации, анализа и редактирования электроэнцефалографических данных использовалось лицензионное программное обеспечение «BrainSys». Предъявление стимулов осуществлялось с помощью стационарного компьютера с помощью программы Presentation.

Анализ данных

Для исключения артефактов проводился визуальный анализ ЭЭГ с помощью программы *Brainsys*. Дальнейший анализ проводился с помощью авторского способа определения локализации мозговой активности «Виртуально вживленный электрод» (патент RU № 2 785 268; Vartanov, 2022; Vartanov, 2023). Эта технология позволяет по данным скальповой ЭЭГ реконструировать электрическую активность, источник которой располагается в определенном месте внутри головы, координаты которой относительно скальповых электродов заранее заданы. В результате была исследована активность в 53 точках, выбранных по атласу MNI152 в центре следующих структур: Hypothalamus, Brainstem, Mesencephalon, Medula Oblongata, Caput n.Caudati L, Caput n.Caudati R, Globus Pallidus Medialis L, Globus Pallidus Medialis R, Putamen L, Putamen R, Thalamus L, Thalamus R, Hippocampus L, Hippocampus R, Corpus Amygdaloideum L, Corpus Amygdaloideum R, G.Cingulate Medialis, Anterior Cingulate BA32, Broca BA44 L, Insula L BA13, Insula R BA13, Ventral Striatum BA25, Parietal cortex BA7 R, Wernicke BA22 L, Dorsomedial prefrontal cortex BA9 L, Dorsomedial prefrontal cortex BA9 R, Supramarginal gyrus BA40 L, Cerebellum R, BA22 R, Angular G.BA39 L, Supramarginal gyrus BA40 R, BA44 R, Parietal cortex BA7 L, V1 BA17 L, V1 BA17 R, Cerebellum L, Angular G.BA39 R, Middle Frontal BA10 L, Middle Frontal BA10 R, Orbital Frontal BA47 L, Orbital Frontal BA47 R, V4 L, V4 R, V3v L, V3v R, VO1 L, VO1 R, VO2 L, VO2 R, PHC1 L, PHC1 R, PHC2 L, PHC2 R.

По каждой из этих структур в каждой из экспериментальных серий (до и после обучения) усреднялся ССП, также вычислялся 95% доверительный интервал, что позволило оценить достоверность различий между ССП в сериях по амплитуде соответствующих пиков. Далее при сравнении ССП будут отмечаться как значимые только те различия, которые по самому жесткому критерию непересечения 95% доверительных интервалов значимы на уровне существенно меньшем, чем 0,05. Усреднение ССП проводилось за 200 мс до момента предъявления стимула и в течение 500 мс после этого по всей группе испытуемых для всех ассоциированных и отдельно для всех неассоциированных (формируемых косвенно) стимулов.

Стимулы

В исследовании были использованы зрительные стимулы: 1) стимулы-знаки (10 изображений) — китайские иероглифы (в виде пред-

ложения на китайском языке, обычно из двух иероглифов), при этом субъективные различия между всеми стимулами были практически одинаковыми как для стимулов, которые ассоциировались со стимулами-значениями, так и для стимулов, которые не ассоциировались со стимулами-значениями; 2) стимулы-значения (8 изображений) — графические изображения лицевых экспрессий (смайликов) и 3) одно изображение с 24 смайликами для обучающей серии.

Процедура эксперимента

Эксперимент состоял из 3 серий (Рисунок 1). ССП регистрировались в 1-й и 3-й сериях, в которых стимул предъявлялся на 1500 мс, после чего была пауза на 1000 мс, в течение которой в центре экрана предъявлялся маленький фиксационный крест.

Серия 1 направлена на регистрацию ССП при исходном восприятии стимулов, которые впоследствии должны стать знаками. Для этого участникам предъявлялись в случайном порядке 10 знаков-иероглифов — каждый по 30 раз (300 предъявлений).

Серия 2 состояла из 2 этапов: 1-й — ассоциативное обучение и 2-й — проверка (тестирование) результатов запоминания ассоциаций.

Этап 1: испытуемому в каждой пробе предъявляется пара — стимул-знак (иероглиф) и соответствующий ему стимул-значение (смайлик) на 1500 мс. 8 из 10 пар стимулов-знаков и стимулов-значений предъявлялись по 5 раз каждая в случайном порядке. Задача испытуемого — запомнить значение каждого знака.

Этап 2: испытуемому на 1500 мс предъявляется один из 10 стимулов-знаков, а потом — экран с изображением 24 стимулов — возможных значений знака (с подписанным под каждым индексом — определенным символом клавиатуры). В набор обязательно входили и те стимулы, что правильно задавали значение в обучающей серии. Участник должен был выбрать значение знака путем нажатия на клавиатуре клавиши, соответствующей индексу стимула на экране. Время выбора ограничивалось 8 сек. Для проверки предъявлялись все 10 стимулов по 3 раза в случайном порядке.

Поскольку выбранные стимулы-знаки и стимулы-значения обрзовывали определенные системы изображений, то за счет выявления ее признаков и взаимной связи этих систем была возможность косвенного формирования связей даже между парами стимул-знак и стимул-значение, которые ни разу не предъявлялись в обучающей

серии (этап 1). Факт образования такой связи может быть выявлен при проверке (на этапе 2).

Этапы 1 и 2 повторялись несколько раз, до полного усвоения всего материала на основании отчета испытуемого. Успешность формирования оценивалась по частоте правильных ответов (определялась вероятность ошибки), а для косвенно формируемых понятий за правильный ответ принималась частота выбора определенного обозначения, стабильно выбираемого большинством испытуемых для соответствующего знака (также оценивалась вероятность ошибки).

Серия 3 — это повтор 1-й серии с регистрацией ССП, когда каждый из 10 стимулов-знаков повторялся по 30 раз в случайном порядке.

Результаты исследования

Эффективность процесса формирования понятий была оценена по числу ошибок в проверочной серии. На Рисунке 2 представлены кривые обучения по всем испытуемым для группы ассоциированных пар «знак — значение» и для группы косвенно сформированных понятий. Снижение вероятности ошибки указывает на эффективность процесса обучения и формирование новых ассоциаций, а также их перенос на аналогичные категории для неассоциированных со значением иероглифов. Эти результаты подтверждают, что в процессе обучения между зрительными знаками была сформирована ассоциативная связь. Знакам, которым не ставилось соответствие в обучающей серии, также присваивалась определенная субъективная категория, то есть зрительные понятия формировались косвенно.

Получены статистически значимые различия в амплитуде ССП до и после формирования понятий в промежутке от 170 до 250 мс в отведениях: С3, С4, F3, Т4 при восприятии знаков как с присвоенной категорией значения, так и без нее. При восприятии прямо ассоциированных знаков также были обнаружены значимые различия в амплитуде вызванных потенциалов (ВП) в промежутке от 180 до 400 мс в отведениях Р3, Т5, Т6, F7, СZ и PZ.

Сопоставление ССП до и после обучения по каждой из 53 обследованных структур показало, что активность следующих структур (областей) мозга существенно изменилась: гиппокамп, ствол мозга, средний мозг, продолговатый мозг, базальные ядра (скорлупа и медиальный бледный шар), амигдала, передняя поясная извилина (область Бродмана 32), левая задняя островковая доля ВА13, вентральный стриатум ВА25, верхняя теменная кора (ВА7), правая часть первич-

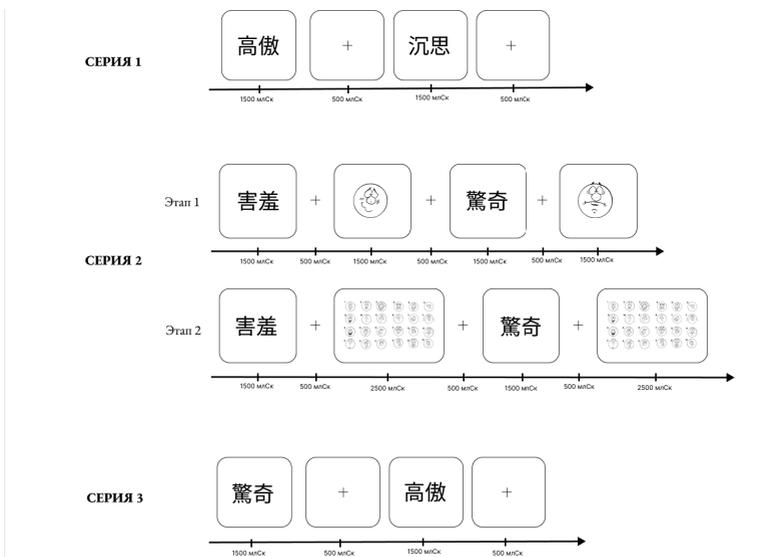


Рисунок 1
Схема эксперимента

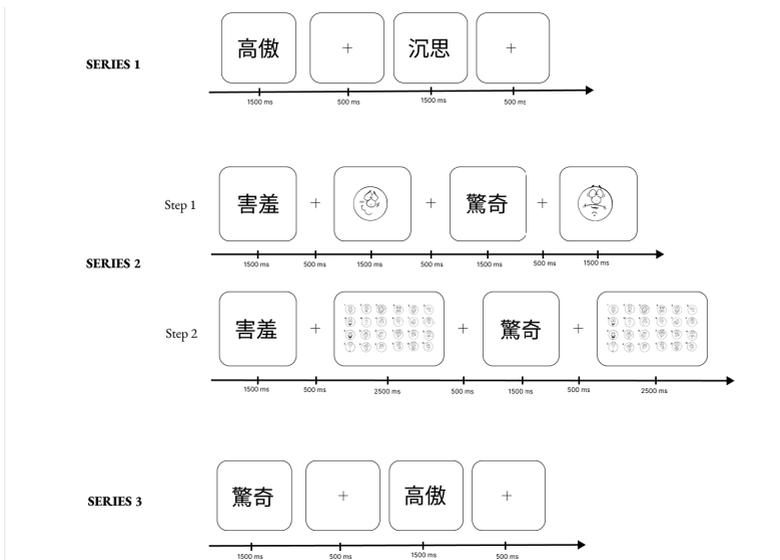


Figure 1
Scheme of the experiment

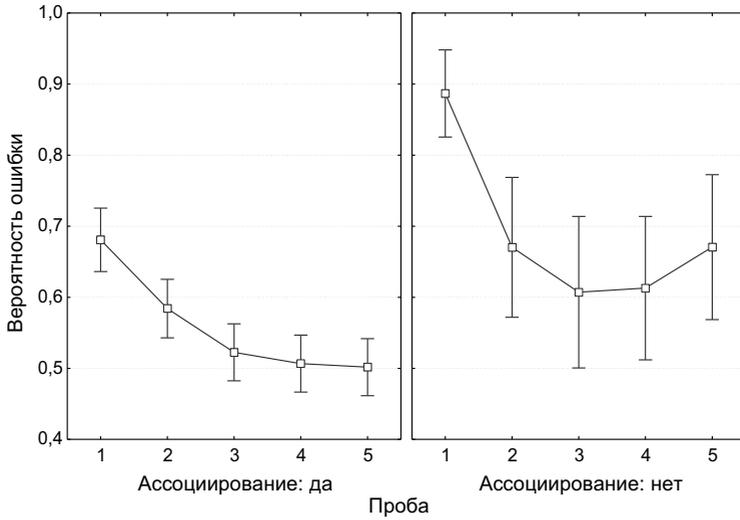


Рисунок 2

Кривая обучения для ассоциированных и неассоциированных иероглифов

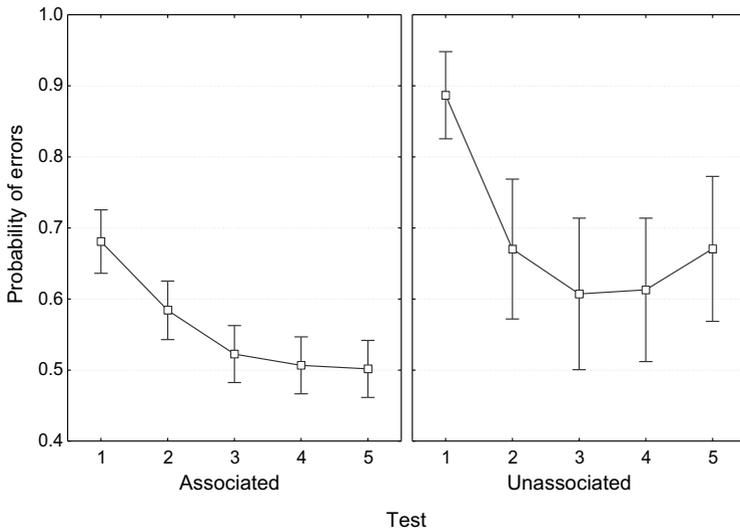


Figure 2

Learning curve for associated and unassociated hieroglyphs

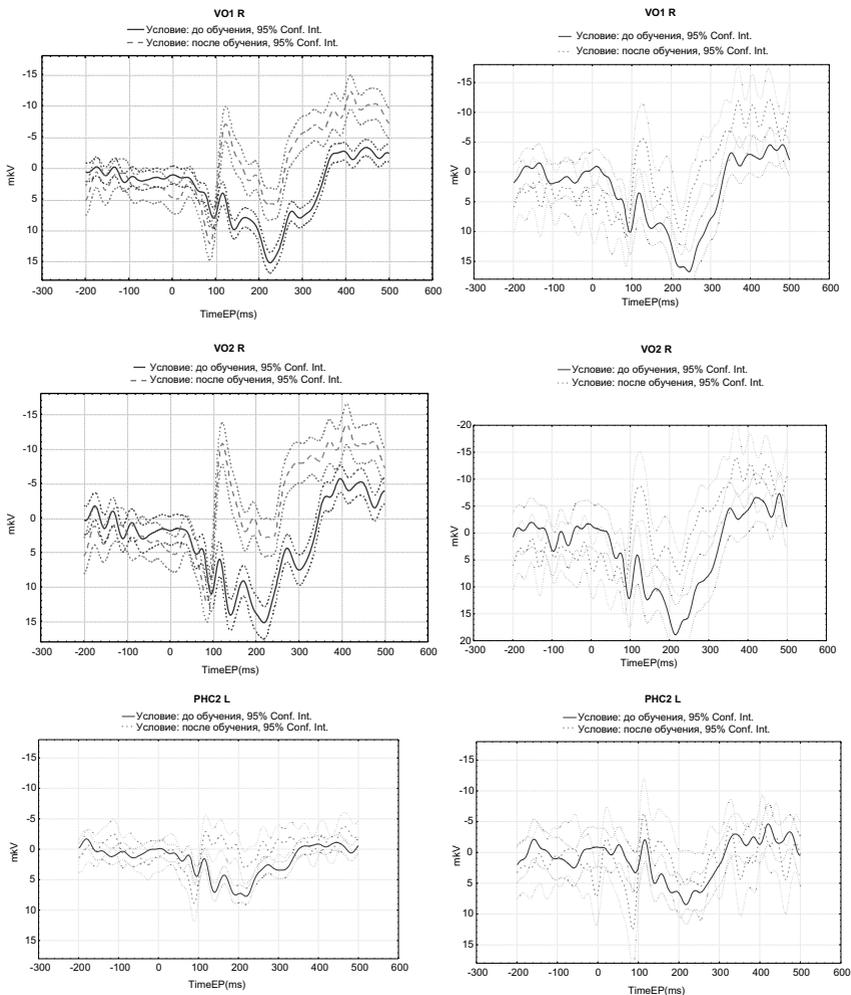


Рисунок 3

ССП для ассоциативно формируемых понятий (слева) и ССП для косвенно формируемых понятий (не ассоциированных прямо) — справа, локализуемые в областях зрительной коры VO1 и VO2 — справа, а также в области PHC2 — слева. Здесь и далее — синяя сплошная линия представляет усредненный ССП до начала обучения, а маленькая синяя — пунктир — 95% интервал при восприятии иероглифов до обучения. Большая красная пунктирная линия — усредненный ССП после обучения, а маленькая красная пунктирная линия — 95% интервал при восприятии иероглифов после обучения. Представлены ССП, усредненные для всей группы респондентов

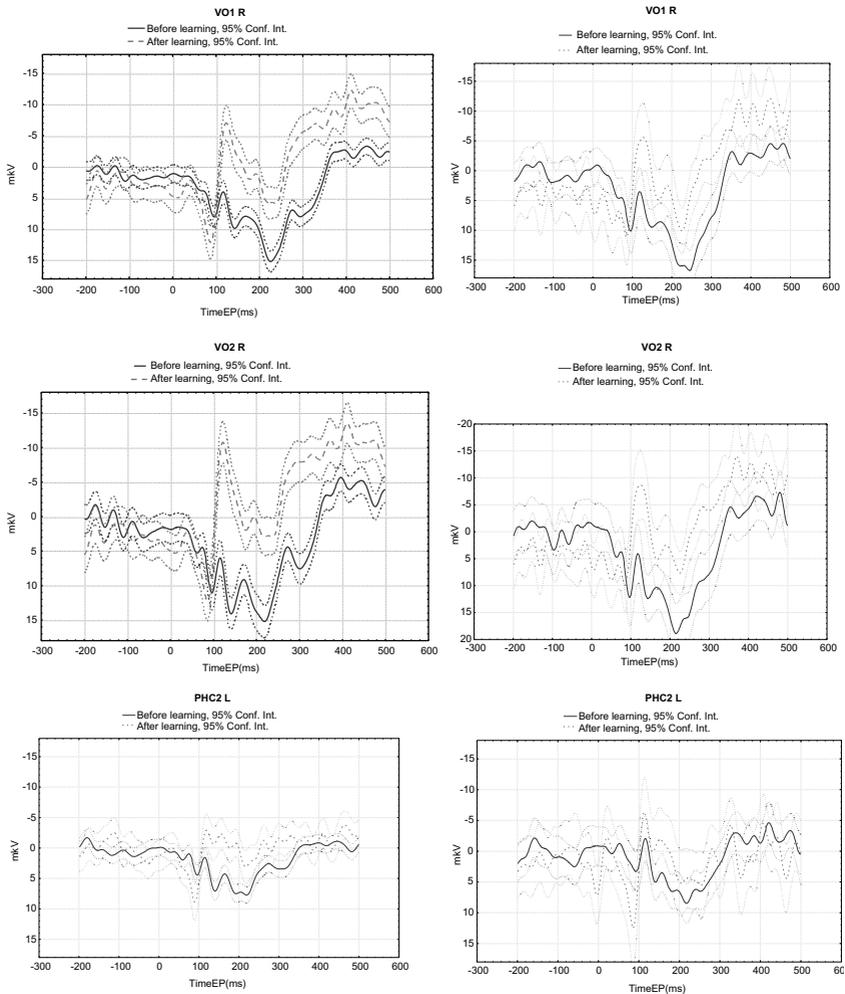


Figure 3

ERPs for associatively formed concepts (left) and ERPs for indirectly formed concepts (not directly associated) — right, localized in right visual cortical areas VO1 and VO2, and in left area PHC2. Here and below: the blue solid line represents the averaged ERP before training, and the small blue dashed line represents the 95% interval in character perception before training. The large red dashed line is the averaged ERP after training, and the small red dashed line is the 95% interval at character perception after training. The ERPs are averaged for the entire group of respondents

ной зрительной коры (V1 BA17), мозжечок, угловая извилина (BA39), правая верхняя лобная извилина (BA10), орбитофронтальная кора (BA47), V4, V3v, VO1, VO2, PNC.

На Рисунке 3 представлены ССП, локализуемые в области зрительной коры VO1 и VO2, где видна существенная разница при восприятии знаков-иероглифов до обучения и после обучения. При этом видны значимые различия в ССП не только для ассоциированных, но для неассоциированных стимулов, то есть косвенно сформированных понятий.

На Рисунке 4 представлены значимые различия ВП в мозговых структурах, связанных с управлением движениями: правого мозжечка, хвостатого ядра, а также продолговатого мозга.

На Рисунке 5 приведены ССП для конвенциональных речевых зон (леволатеральных) — сенсорной области (Вернике) и моторной области (Брока), а также правой части амигдалы.

Выявлено, что в моторной речевой зоне (Брока) амплитуда ВП выше, чем в сенсорной области (Вернике). Также показано, что левая часть миндалевидного тела также была активна в процессе обучения.

На Рисунке 5 видно, что в области Вернике ответ практически не изменился в результате обучения.

Обсуждение

Процесс формирования понятий является комплексным когнитивным процессом, включенным в различные высшие психические функции человека, такие как внимание, рабочая память и речь. Существует значительное количество общетеоретических и эмпирических данных, объясняющих процесс формирования понятий, собрано достаточное количество данных о нейронном субстрате, участвующем в формировании понятий. Однако существуют трудности в понимании механизмов формирования собственно визуальных понятий. Их включенность в самые разные когнитивные задачи не позволяет дать однозначный ответ на вопрос о локализации мозговой активности при формировании понятий исключительно на основе зрительной модальности.

Как известно, при восприятии письменных знаков, согласно данным (Kandel et al., 2000), информация о цвете, форме и движении поступает на сетчатку, а потом в латеральное коленчатое тело таламуса, откуда она отправляется в разные нейроны внутри стриарной коры (области V1, V2), после чего информация передается в различные

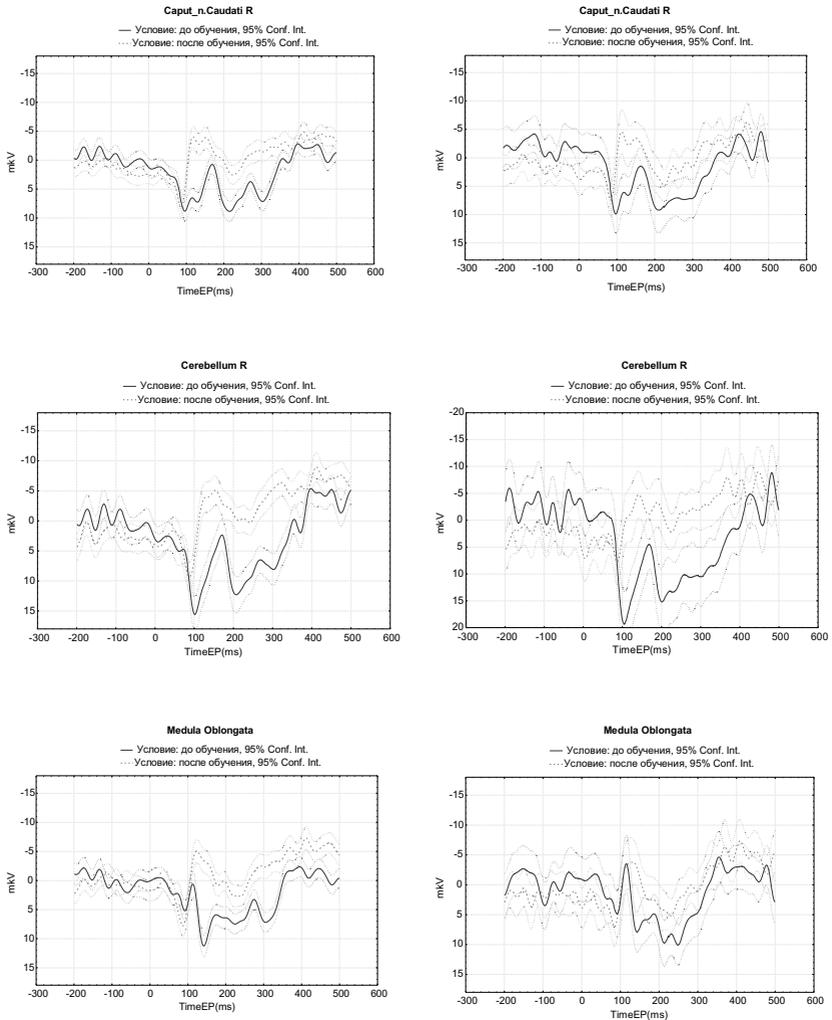


Рисунок 4

ССП для ассоциативно сформированных зрительных понятий (слева) и ССП для косвенно сформированных понятий (справа), локализуемые в хвостатых ядрах (вверху), мозжечке (в середине), а также в продолговатом мозге (внизу)

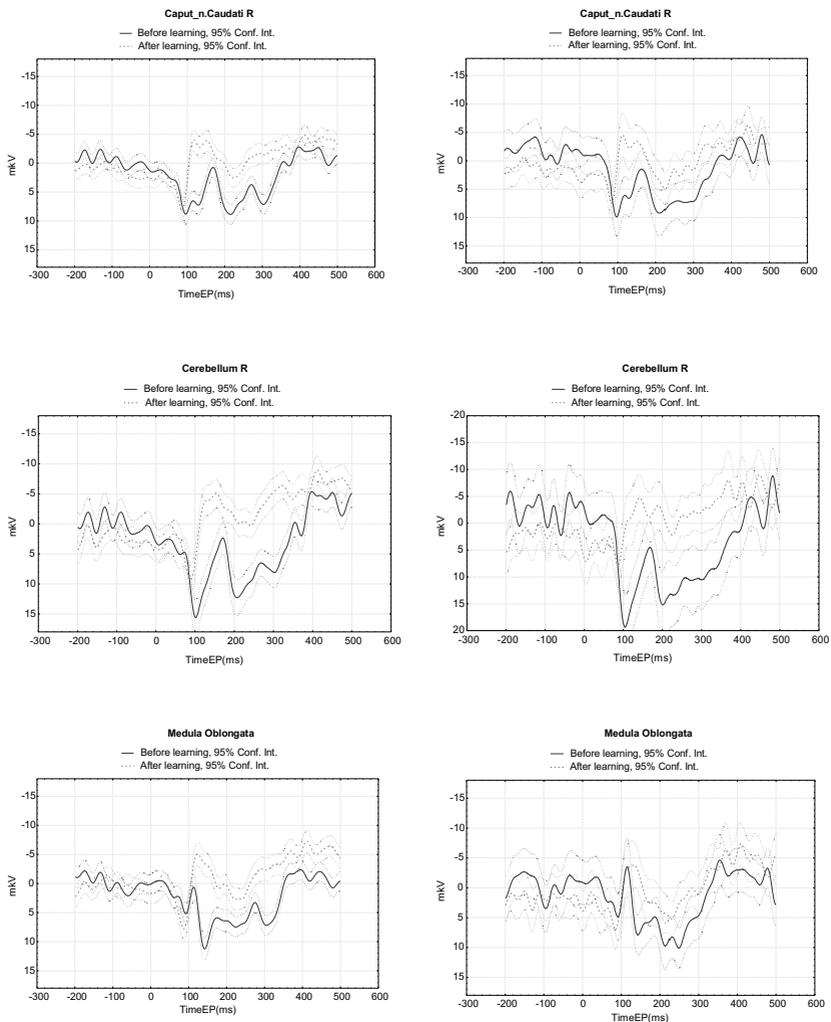


Figure 4

ERPs for associatively formed visual concepts (left) and ERPs for indirectly formed concepts (right) localized in the caudate nuclei (top), cerebellum (middle), and medulla oblongata (bottom)

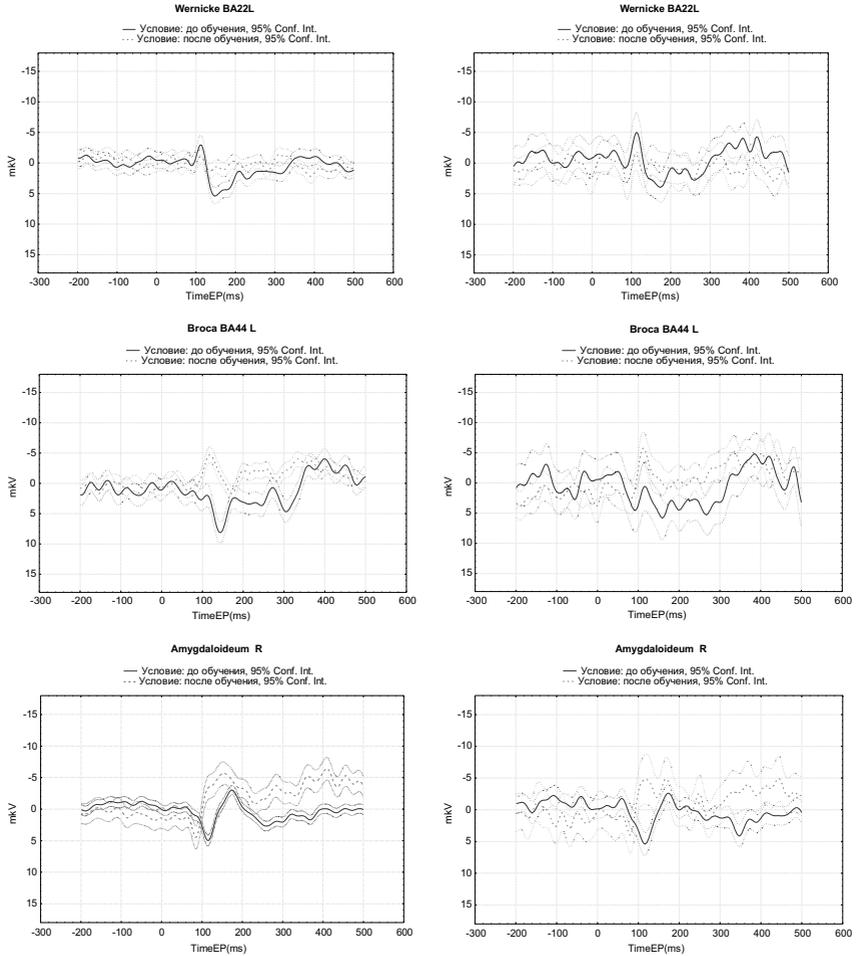


Рисунок 5

ССП для ассоциативно сформированных понятий (слева) и ССП для косвенно сформированных понятий (справа), локализуемые в области Вернике (БА 22 слева) — сверху, Брока (БА 44 справа) — в середине, а также в амигдале — внизу

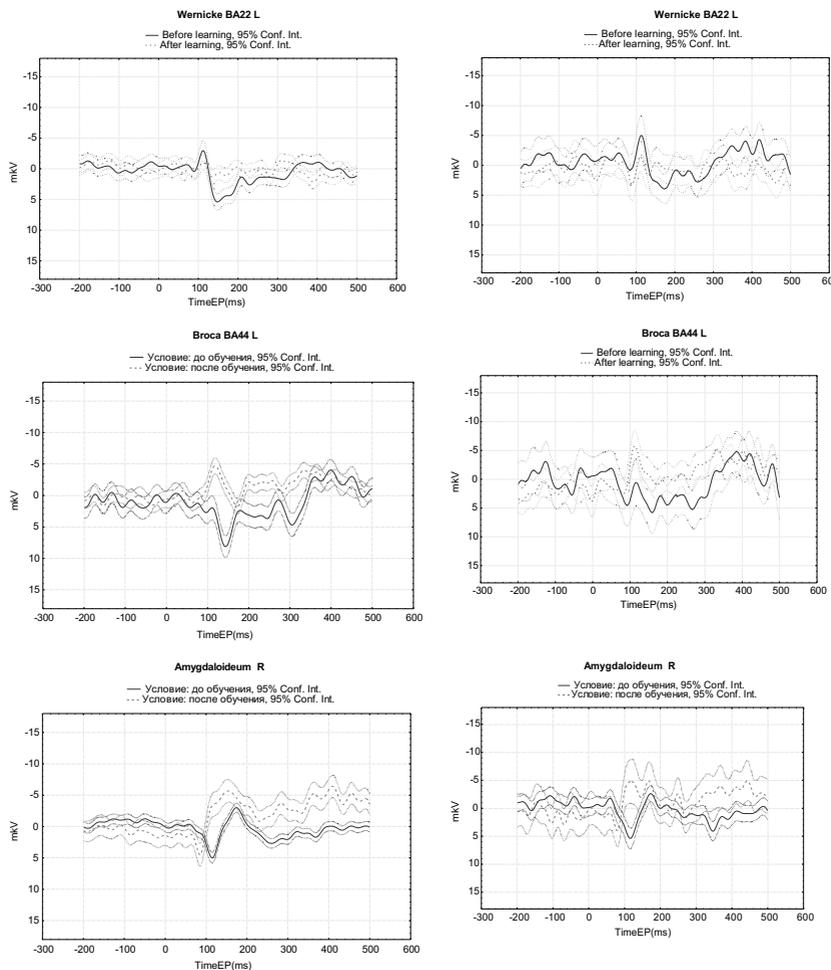


Figure 5

ERPs for associatively formed concepts (left) and ERPs for indirectly formed concepts (right) localized in Wernicke's area (BA 22 on the left) and Broca's area (BA 44 on the right) in the middle, and in the amygdala (bottom)

области экстрастриарной, состоящей из вентрального и дорсального потоков, затем информация передается в ассоциативную зрительную кору, охватывающую заднюю теменную долю и большую часть задней височной доли (зоны Брока 7, 20, 37 и 39).

Однако, как показали наши результаты, активность определенных участков мозга, связанных со зрительной обработкой информации и когнитивными процессами, изменилась после формирования ассоциации в процессе обучения. Такое изменение мозговой активности может указывать на адаптацию нервной системы к новым зрительным понятиям, что соответствует теориям пластичности мозга (Mateos-Aparicio, Rodríguez-Moreno, 2019).

Анализ полученных данных показал, что при восприятии знаков, сформированных как ассоциативно, так и косвенно, различия обнаружались в следующих структурах: Globus Pallidus Medialis, Putamen, Thalamus, Corpus Amygdaloideum, G.Cingulate Medialis, Parietal cortex BA7, V1 BA17, Broca BA44, Cerebellum и РНС1, Globus Pallidus Medialis и Putamen. Активность базальных ганглиев связана с регуляцией движений и управлением поведением. Активность таламуса обусловлена передачей и переключением сенсорной зрительной информации с аксонов восходящих афферентных путей на следующие нейроны, отростки которых идут в проекционную первичную зрительную область коры V1 BA17, отвечающую за обработку информации о световых раздражителях. Амигдала — участок мозга, связанный с эмоциональными реакциями и обработкой информации об угрозах. G.Cingulate Medialis — участок мозга, ответственный за регуляцию эмоционального поведения. Parietal cortex BA7 — область мозга, связанная с пространственным восприятием и координацией движений. Broca BA44 — область мозга, отвечающая за речевую функцию.

После ассоциативного обучения иероглифам также произошли значимые изменения в локализации мозговой активности при восприятии ассоциированных и не ассоциированных со значением знаков-иероглифов.

При восприятии ассоциированных иероглифов были обнаружены значимые различия в локализации мозговой активности не только в визуальных областях коры, участвовавшей в обработке зрительной информации (V1_BA17, V4, V3v, VO1, VO2), но и в областях, связанных с речевой моторной функцией (Broca_BA44) и двигательными речевыми зонами мозжечка, парагиппокампальной извилины (РНС2, РНС1), которая участвует в зрительно-пространственной обработке информации и эпизодической памяти. Также были обнаружены

значимые различия в структурах, связанных с эмоциональными реакциями (Anterior Cingulate BA32, Insula BA13, Ventral Striatum BA25, Corpus Amygdaloideum) и пространственным восприятием (Parietal cortex BA7, Angular G. BA39).

Таким образом, результаты эксперимента показали, что процесс ассоциативного и косвенного обучения при формировании понятий может привести к значимым изменениям в локализации мозговой активности, затрагивающим различные мозговые структуры.

Следовательно, в процессе формирования зрительных понятий могут быть задействованы не только области, участвующие в зрительной обработке информации и реализации моторных аспектов речи, но и области, воздействующие на другие отделы мозга, ответственные за эмоциональное содержание, пространственное восприятие и двигательные речевые зоны.

Сходство между этими структурами заключается в том, что они участвуют в процессе обработки зрительной информации и восприятию иероглифов. Различие же заключается в том, что в одной группе структур происходит модуляция зрительной информации и формирование значения, а в другой — только восприятие зрительных образов. Кроме того, результаты исследования показывают, что до обучения мозговые структуры не различаются в своей активации при восприятии иероглифов, а после обучения происходят изменения в активации, что подтверждает их участие в формировании значения. Однако в целом в процессе обучения и формирования понятий участвуют такие структуры, как гиппокамп, средняя лобная извилина, зона Вернике, затылочный кортекс, область Бродмана и другие.

Миндалевидное тело, известное своей ролью в обработке эмоций, оценке валентности и значимости визуальных объектов (Todd, Anderson, 2010), может влиять на внимание и консолидацию памяти, тем самым оказывая воздействие на то, как формируются и запоминаются концепции, основанные на визуальных стимулах.

Роль хвостатых ядер в когнитивных функциях, таких как обработка обратной связи, ожидание вознаграждения и формирование привычек, хорошо известна (Tricomi, Fiez, 2008).

Нейронная сеть чтения левого полушария включает в себя затылочно-височную кору головного мозга, ответственную за визуальную обработку формы слова, височно-теменную кору, участвующую в зрительно-слуховой ассоциации и фонологической обработке, а также нижнюю лобную извилину для артикуляции (Glezer et al., 2016).

Обнаруженное нами участие продолговатого мозга в процессе формирования визуальных понятий менее изучено, однако известно, что он играет решающую роль в вегетативных процессах, которые поддерживают высшие когнитивные функции. Его влияние на процессы внимания и цикл сна — бодрствования может косвенно объяснить и его влияние на формирование понятий (Jordanova, Reddivari, 2023).

Были зафиксированы значимые различия активности правой части мозжечка, который участвует в функциях памяти, реализации речи и процессе чтения в качестве модулятора различных сетей мозга (Миронец, 2023). В целом извлечение значения из визуальных знаков включает в себя интеграцию визуальной информации на различных уровнях зрительной системы, сложные процессы нейронного декодирования и динамическое взаимодействие между восходящими и нисходящими механизмами обработки информации в головном мозге.

Выводы

Полученные результаты показали, что в процессе обучения всем знакам была присвоена определенная категория. Были выявлены достоверные различия в вызванных потенциалах в отведениях C3 и CZ.

Ранняя сенсорная обработка в таких специфических зрительных областях, как VO1 и VO2, перерастает в концептуальное понимание более высокого порядка, потенциально затрагивающее такие области, как РНС, поскольку понятия и категории не формируются в изолированных участках мозга. Роль ствола мозга в поддержании когнитивной активности и миндалевидного тела в эмоциональной регуляции может способствовать более полному пониманию того, как интеграция связей между различными структурами мозга обеспечивает формирование зрительных категорий.

Формированию зрительных категорий обеспечивается содружественной работой правой части мозжечка, парагиппокампальной извилины и первичной зрительной корой, что подтверждается обнаруженными различиями соответствующих ССП.

Список литературы

Брунер, Дж. (1977). Психология познания. За пределами непосредственной информации. Перевод с английского. Москва: Изд-во «Прогресс».

Вартанов, А.В. (2023). Новый подход к пространственной локализации электрической активности по данным ЭЭГ. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*, 15(4), 326–338. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.177>

Вартанов, А.В., Матвиенко, Е.В. (2017). Механизм косвенного обучения при формировании понятий. *Вопросы психологии*, (6), 129–143. Москва: Изд-во «Педагогика».

Выготский, Л.С. (1982). *Собрание сочинений: в 6 тт. Т. 2. Проблемы общей психологии*. Под ред. В.В. Давыдова. Москва: Изд-во «Педагогика».

Миронец, С.А. (2023). Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения. *Психологические исследования*, 16(87), 6. <https://doi.org/10.54359/ps.v16i87.1352>

Петренко, В.Ф. (1983). Введение в экспериментальную психосемантику: исследование форм репрезентации в обыденном сознании. Москва: Изд-во Московского ун-та.

Петренко, В.Ф. (2010). *Основы психосемантики*. 3-е изд. Москва: Изд-во «Эксмо».

Burton, H., Snyder, A.Z., Conturo, T.E., Akbudak, E., Ollinger, J.M., Raichle, M.E. (2002). Adaptive Changes in Early and Late Blind a fMRI Study of Braille Reading. *Journal of Neurophysiology*, 87(1), 589–607. <https://doi.org/10.1152/jn.00285.2001>

Curot, J., Busigny, T., Valton, L., Denuelle, M., Vignal, J.P., Maillard, L., Chauvel, P., Pariente, J., Trebuchon, A., Bartolomei, F., Barbeau, E.J. (2017). Memory Scrutinized Through Electrical Brain Stimulation: A Review of 80 Years of Experiential Phenomena. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, (78), 161–177. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.04.018>

Dehaene, S. (2009). *Reading in the Brain: The New Science of How We Read*. New York: Penguin + Publ.

Finney, E.M., Clementz, B.A., Hickok, G., Dobkins, K.R. (2003). Visual Stimuli Activate Auditory Cortex in Deaf Subjects: Evidence From MEG. *Neuroreport*, 14(11), 1425–1427. <https://doi.org/10.1097/00001756-200308060-00004>

Finney, E.M., Fine, I., Dobkins, K.R. (2001). Visual stimuli Activate Auditory Cortex in the Deaf. *Nature Neuroscience*, (4), 1171–1173. <https://doi.org/10.1038/nn763>

Gaillard, R., Naccache, L., Pinel, P., Clémenceau, S., Volle, E., Hasboun, D., Dupont, S., Baulac, M., Dehaene, S., Adam, C., Cohen, L. (2006). Direct Intracranial, FMRI, and Lesion Evidence for the Causal Role of Left Inferotemporal Cortex in Reading. *Neuron*, 50(2), 191–204. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.03.031>

Glezer, L.S., Eden, G., Jiang, X., Luetje, M., Napoliello, E., Kim, J., Riesenhuber, M. (2016). Uncovering Phonological and Orthographic Selectivity Across the Reading Network Using fMRI-RA. *NeuroImage*, (138), 248–256. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.05.072>

Glezer, L.S., Jiang, X., Riesenhuber, M. (2009). Evidence for Highly Selective Neuronal Tuning to Whole Words in the “Visual Word Form Area”. *Neuron*, 62(2), 199–204. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.03.017>

Goldreich, D., Kanics, I.M. (2003). Tactile Acuity Is Enhanced in Blindness. *Journal of Neuroscience*, 23(8), 3439–3445. <http://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-08-03439.2003>

Gougoux, F., Lepore, F., Lassonde, M., Voss, P., Zatorre, R.J., Belin, P. (2004). Neuropsychology: Pitch Discrimination in the Early Blind. *Nature*, (430), 309. <https://doi.org/10.1038/430309a>

Hannagan, T., Amedi, A., Cohen, L., Dehaene-Lambertz, G., Dehaene, S. (2015). Origins of the Specialization for Letters and Numbers in Ventral Occipitotemporal Cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(7), 374–382. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.05.006>

Hu, Z., Wang, W., Liu, H., Peng, D., Yang, Y., Li, K., Zhang, J.X., Ding, G. (2011). Brain Activations Associated with Sign Production Using Word and Picture Inputs in Deaf Signers. *Brain and language*, 116(2), 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2010.11.006>

Iordanova, R., Reddivari, A.K.R. (2023). Neuroanatomy, Medulla Oblongata. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551589/> (accessed: 20.01.2024).

Kandel, E.R., Schwartz, J., Jessell, T.M. (2000). Principles of Neural Science. New York: McGraw-Hill, Health Professions Division Publ.

Karns, C.M., Dow, M.W., Neville, H.J. (2012). Altered Cross-Modal Processing in the Primary Auditory Cortex of Congenitally Deaf Adults: A Visual-Somatosensory fMRI Study with a Double-Flash Illusion. *Journal of Neuroscience*, 32(28), 9626–9638. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6488-11.2012>

Koch, C., Davis, J.L. (1994). Large-Scale. Neuronal Theories of the Brain. Cambridge: The MIT Press Publ.

Kozlovskiy, S., Rogachev, A. (2021). How Areas of Ventral Visual Stream Interact When We Memorize Color and Shape Information. *Advances in Cognitive Research, Artificial Intelligence and Neuroinformatics*, (1358), 95–100. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-71637-0_10

Levänen, S., Hamdor, D. (2001). Feeling Vibrations: Enhanced Tactile Sensitivity in Congenitally Deaf Humans. *Neuroscience Letters*, 301(1), 75–77. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(01\)01597-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(01)01597-X)

Levänen, S., Jousmäki, V., Hari, R. (1998). Vibration-Induced Auditory-Cortex Activation in a Congenitally Deaf Adult. *Current Biology*, 8(15), 869–872, [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(07\)00348-X](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(07)00348-X)

Lore, W.H., Song, S. (1991). Central and Peripheral Visual Processing in Hearing and Nonhearing Individuals. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 29(5), 437–440. <https://doi.org/10.3758/bf03333964>

Mateos-Aparicio, P., Rodriguez-Moreno, A. (2019). The Impact of Studying Brain Plasticity. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, (13). <https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00066>

Neville, H.J., Bavelier, D., Corina, D., Rauschecker, J., Karni, A., Lalwani, A., Braun, A., Clark, V., Jezzard, P., Turner, R. (1998). Cerebral Organization for Language in Deaf and Hearing Subjects: Biological Constraints and Effects of Experience. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(3), 922–929. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.3.922>

Poirier, C., Collignon, O., Scheiber, C., Renier, L., Vanlierde, A., Tranduy, D., Veerart, C., De Volder, A.G. (2006). Auditory Motion Perception Activates Visual Motion Areas in Early Blind Subjects. *NeuroImage*, 31(1), 279–285. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.11.036>

Röder, B., Stock, O., Bien, S., Neville, H., Rösler, F. (2002). Speech Processing Activates Visual Cortex in Congenitally Blind Humans. *European Journal of Neuroscience*, 16(5), 930–936. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2002.02147.x>

Röder, B., Teder-Sälejärvi, W., Sterr, A., Rösler, F., Hillyard, S.A., Neville H.J. (1999). Improved Auditory Spatial Tuning in Blind Humans. *Nature*, 400(6740), 162–166. <https://doi.org/10.1038/22106>

Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J., Ibañez, V., Deiber, M. P., Dold, G., Hallett, M. (1996). Activation of the Primary Visual Cortex by Braille Reading in Blind Subjects. *Nature*, 380(6574), 526–528. <https://doi.org/10.1038/380526a0>

Sadato, N., Yamada, H., Okada, T., Yoshida, M., Hasegawa, T., Matsuki, K., Yonekura, Y., Itoh, H. (2004). Age-Dependent Plasticity in The Superior Temporal Sulcus in Deaf Humans: A Functional MRI Study. *BMC neuroscience*, (5), 56. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-5-56>

Todd, R.M., Anderson, A.K. (2010). *Social psychology of visual perception*. New York: Psychology Press Publ.

Tricomi, E., Fiez, J.A. (2008). Feedback Signals in The Caudate Reflect Goal Achievement on a Declarative Memory Task. *NeuroImage*, 41(3), 1154–1167. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.02.066>

Vachon, P., Voss, P., Lassonde, M., Leroux, J.-M., Mensour B., et al. (2013). Reorganization of the Auditory, Visual and Multimodal Areas in Early Deaf Individuals. *Neuroscience*, (245), 50–60, <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2013.04.004>

Vartanov, A.V. (2022). A New Method of Localizing Brain Activity Using the Scalp EEG Data. *Procedia computer science*, (213), 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.11.036>

References

Bruner, J. (1977). *Psychology of Cognition. Beyond Immediate Information*. Translation from English. Moscow: Progress Publ. (In Russ.)

Burton, H., Snyder, A.Z., Conturo, T.E., Akbudak, E., Ollinger, J.M., Raichle, M.E. (2002). Adaptive Changes in Early and Late Blind a fMRI Study of Braille Reading. *Journal of Neurophysiology*, 87(1), 589–607. <https://doi.org/10.1152/jn.00285.2001>

Curot, J., Busigny, T., Valton, L., Denuelle, M., Vignal, J.P., Maillard, L., Chauvel, P., Pariente, J., Trebuchon, A., Bartolomei, F., Barbeau, E.J. (2017). Memory Scrutinized Through Electrical Brain Stimulation: A Review of 80 Years of Experiential Phenomena. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, (78), 161–177. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.04.018>

Dehaene, S. (2009). *Reading in the Brain: The New Science of How We Read*. New York: Penguin + Publ.

Finney, E.M., Clementz, B.A., Hickok, G., Dobkins, K.R. (2003). Visual Stimuli Activate Auditory Cortex in Deaf Subjects: Evidence From MEG. *Neuroreport*, 14(11), 1425–1427. <https://doi.org/10.1097/00001756-200308060-00004>

Finney, E.M., Fine, I., Dobkins, K.R. (2001). Visual stimuli Activate Auditory Cortex in the Deaf. *Nature Neuroscience*, (4), 1171–1173. <https://doi.org/10.1038/nn763>

Gaillard, R., Naccache, L., Pinel, P., Clémenceau, S., Volle, E., Hasboun, D., Dupont, S., Baulac, M., Dehaene, S., Adam, C., Cohen, L. (2006). Direct Intracranial, FMRI, and Lesion Evidence for the Causal Role of Left Inferotemporal Cortex in Reading. *Neuron*, 50(2), 191–204. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.03.031>

Glezer, L.S., Eden, G., Jiang, X., Luetje, M., Napoliello, E., Kim, J., Riesenhuber, M. (2016). Uncovering Phonological and Orthographic Selectivity Across the Reading Network Using fMRI-RA. *NeuroImage*, (138), 248–256. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.05.072>

Glezer, L.S., Jiang, X., Riesenhuber, M. (2009). Evidence for Highly Selective Neuronal Tuning to Whole Words in the “Visual Word Form Area”. *Neuron*, 62(2), 199–204. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.03.017>

Goldreich, D., Kanics, I.M. (2003). Tactile Acuity Is Enhanced in Blindness. *Journal of Neuroscience*, 23(8), 3439–3445. <http://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-08-03439.2003>

Gougoux, F., Lepore, F., Lassonde, M., Voss, P., Zatorre, R.J., Belin, P. (2004). Neuropsychology: Pitch Discrimination in the Early Blind. *Nature*, (430), 309. <https://doi.org/10.1038/430309a>

Hannagan, T., Amedi, A., Cohen, L., Dehaene-Lambertz, G., Dehaene, S. (2015). Origins of the Specialization for Letters and Numbers in Ventral Occipitotemporal Cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(7), 374–382. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.05.006>

Hu, Z., Wang, W., Liu, H., Peng, D., Yang, Y., Li, K., Zhang, J.X., Ding, G. (2011). Brain Activations Associated with Sign Production Using Word and Picture Inputs in Deaf Signers. *Brain and language*, 116(2), 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2010.11.006>

Iordanova, R., Reddivari, A.K.R. (2023). Neuroanatomy, Medulla Oblongata. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551589/> (accessed: 20.01.2024).

Kandel, E.R., Schwartz, J., Jessell, T.M. (2000). Principles of Neural Science. New York: McGraw-Hill, Health Professions Division Publ.

Karns, C.M., Dow, M.W., Neville, H.J. (2012). Altered Cross-Modal Processing in the Primary Auditory Cortex of Congenitally Deaf Adults: A Visual-Somatosensory FMRI Study with a Double-Flash Illusion. *Journal of Neuroscience*, 32(28), 9626–9638. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6488-11.2012>

Koch, C., Davis, J.L. (1994). Large-Scale. Neuronal Theories of the Brain. Cambridge: The MIT Press Publ.

Kozlovskiy, S., Rogachev, A. (2021). How Areas of Ventral Visual Stream Interact When We Memorize Color and Shape Information. *Advances in Cognitive Research, Artificial Intelligence and Neuroinformatics*, (1358), 95–100. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-71637-0_10

Levänen, S., Hamdor, D. (2001). Feeling Vibrations: Enhanced Tactile Sensitivity in Congenitally Deaf Humans. *Neuroscience Letters*, 301(1), 75–77. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(01\)01597-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(01)01597-X)

Levänen, S., Jousmäki, V., Hari, R. (1998). Vibration-Induced Auditory-Cortex Activation in a Congenitally Deaf Adult. *Current Biology*, 8(15), 869–872, [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(07\)00348-X](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(07)00348-X)

Lore, W.H., Song, S. (1991). Central and Peripheral Visual Processing in Hearing and Nonhearing Individuals. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 29(5), 437–440. <https://doi.org/10.3758/bf03333964>

Mateos-Aparicio, P., Rodriguez-Moreno, A. (2019). The Impact of Studying Brain Plasticity. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, (13). <https://doi.org/10.3389/fncel.2019.00066>

Mironets, S.A. (2023). The Role of the Cerebellum in the Formation and Functioning of Reading Skills. *Psikhologicheskie issledovaniya = Psychological Studies*, 16(87), 6. (In Russ.). <https://doi.org/10.54359/ps.v16i87.1352>

Neville, H.J., Bavelier, D., Corina, D., Rauschecker, J., Karni, A., Lalwani, A., Braun, A., Clark, V., Jezzard, P., Turner, R. (1998). Cerebral Organization for Language in Deaf and Hearing Subjects: Biological Constraints and Effects of Experience. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(3), 922–929. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.3.922>

Petrenko, V.F. (1983). Introduction to Experimental Psychosemantics: A Study of Representation Forms in Everyday Consciousness. Moscow: Moscow Univ. Press. (In Russ.)

Petrenko, V.F. (2010). Fundamentals of Psychosemantics. 3rd ed. Moscow: Eksmo Publ. (In Russ.)

Poirier, C., Collignon, O., Scheiber, C., Renier, L., Vanlierde, A., Tranduy, D., Veeraart, C., De Volder, A.G. (2006). Auditory Motion Perception Activates Visual Motion Areas in Early Blind Subjects. *NeuroImage*, 31(1), 279–285. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.11.036>

Röder, B., Stock, O., Bien, S., Neville, H., Rösler, F. (2002). Speech Processing Activates Visual Cortex in Congenitally Blind Humans. *European Journal of Neuroscience*, 16(5), 930–936. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2002.02147.x>

Röder, B., Teder-Sälejärvi, W., Sterr, A., Rösler, F., Hillyard, S.A., Neville, H.J. (1999). Improved Auditory Spatial Tuning in Blind Humans. *Nature*, 400(6740), 162–166. <https://doi.org/10.1038/22106>

Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J., Ibañez, V., Deiber, M. P., Dold, G., Hallett, M. (1996). Activation of the Primary Visual Cortex by Braille Reading in Blind Subjects. *Nature*, 380(6574), 526–528. <https://doi.org/10.1038/380526a0>

Sadato, N., Yamada, H., Okada, T., Yoshida, M., Hasegawa, T., Matsuki, K., Yonekura, Y., Itoh, H. (2004). Age-Dependent Plasticity in The Superior Temporal Sulcus in Deaf Humans: A Functional MRI Study. *BMC neuroscience*, (5), 56. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-5-56>

Todd, R.M., Anderson, A.K. (2010). Social psychology of visual perception. New York: Psychology Press Publ.

Tricomi, E., Fiez, J.A. (2008). Feedback Signals in The Caudate Reflect Goal Achievement on a Declarative Memory Task. *NeuroImage*, 41(3), 1154–1167. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.02.066>

Vachon, P., Voss, P., Lassonde, M., Leroux, J.-M., Mensour B., et al. (2013). Reorganization of the Auditory, Visual and Multimodal Areas in Early Deaf Individuals. *Neuroscience*, (245), 50–60, <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2013.04.004>

Vartanov, A.V. (2022). A New Method of Localizing Brain Activity Using the Scalp EEG Data. *Procedia computer science*, (213), 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.11.036>

Vartanov, A.V. (2023). A New Approach to Spatial Localization of Electrical Activity Based on EEG Data. *Epilepsiya i Paroksizmal'nye Sostoyaniya = Epilepsy and Paroxysmal Conditions*, 15(4), 326–338. (In Russ.). <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.177>

Vartanov, A.V., Matvienko, E.V. (2017). The Mechanism of Indirect Learning in the Formation of Concepts. *Voprosy Psikhologii*, (6), 129–143. Moscow: Pedagogika Publ. (In Russ.)

Vygotsky, L.S. (1982). Collected works: in 6 vol. Vol. 2. Problems of General Psychology. In: V.V. Davydov, (ed.). Moscow: Pedagogika Publ. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Анна Павловна Каманюк, магистрант кафедры психофизиологии факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, ann.stka@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-5620-2181>

Александр Валентинович Вартанов, кандидат психологических наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры психофизиологии факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация, a_v_vartanov@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8844-9643>

ABOUT THE AUTHORS

Anna P. Kamaniuk, Master's Programme Student at the Department of Psychophysiology, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation, ann.stka@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-5620-2181>

Alexander V. Vartanov, Cand. Sci. (Psychology), Associate Professor, Senior Researcher at the Department of Psychophysiology, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation a_v_vartanov@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8844-9643>

Поступила: 13.02.2024; получена после доработки: 27.06.2024; принята в печать: 27.08.2024.

Received: 13.02.2024; revised: 27.06.2024; accepted: 27.08.2024.