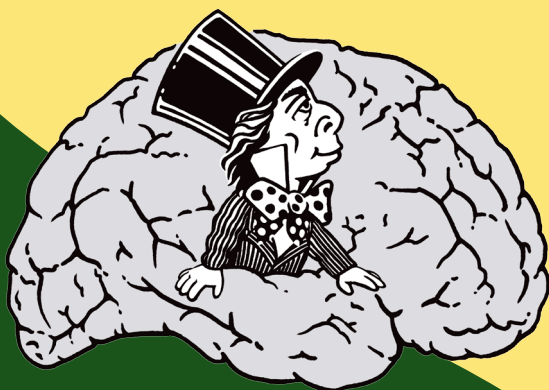


КОГНИТИВНАЯ НАУКА

В МОСКВЕ



НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

МАТЕРИАЛЫ
КОНФЕРЕНЦИИ
2023

Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман, А.Я. Койфман

УДК 159.9
ББК 88.25
К57

Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 21 – 22 июня 2023 г. Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман, А.Я. Койфман. – М.: ООО «Буки Веди», Московский институт психоанализа. 2023 г. – 604 стр.

© Авторы статей, 2023

ISBN 978-5-4465-3880-5

УДК 159.9
ББК 88.25

ISBN 978-5-4465-3880-5

© Авторы статей, 2023

ЛОКАЛИЗАЦИЯ БАЗОВЫХ КОНЦЕПТОВ ЦВЕТА И ФОРМЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

А. В. Антипова* (1), В. А. Липатов (2), К. М. Рысева (1),
П. А. Лехницкая (3), А. О. Рогачёв (4)

annaantipova1415@gmail.com

1 – МГУ, Москва; 2 – ВолГУ, Волгоград;

3 – К(П)ФУ, Казань; 4 – Университет «Сириус», Сочи

Аннотация. Концептуальное пространство является актуальной темой для современных когнитивных исследований, когнитивной лингвистики, искусственного интеллекта, философии и нейроинтерфейсов. Оценка локализации базовых концептов позволит определить, какие механизмы задействованы в формировании и функционировании ментального пространства. В рамках данного исследования рассматривалась локализация базовых концептов «цвет», «фигура» и «цветная фигура». В исследовании приняли участие 14 респондентов (средний возраст 23.5 лет ($SD = 3.2$), 4 участника мужского пола), которых проинструктировали представлять образ в течение 30 секунд. Одновременно проводилась запись ЭЭГ. Полученные результаты указывают на наличие значимых различий в активности префронтальной коры головного мозга в пределах тета-, альфа- и бета-активности. Результаты данного исследования могут быть использованы для разработки интерфейса мозг – компьютер на основе визуальных представлений, а также в качестве теоретической основы для изучения ритмических и пространственных корреляций между определенными парами концептов – например, «желтый» и «желтый треугольник».

Ключевые слова: концепт, ментальное пространство, нейроинтерфейс, абстрактные понятия, цвет, форма

Исследование проведено в рамках программы дополнительного профессионального образования «Современные методы когнитивных исследований» Научно-технологического университета «Сириус».

Введение

Согласно В.А. Масловой, концепт представляет собой совокупность информации на трех уровнях психического отражения: «уровня чувственного восприятия, уровня формирования представлений (элементарные обобщения и абстракции), уровня речемыслительных процессов» (Маслова, 2004, с. 10). В процессе функционирования и взаимодействия с другими ментальными презентациями концепт порождает «определенное ментальное пространство со своей топологией, метрикой и динамикой» (Холодная, 2012, с. 180). Исследование концептуального пространства представляет особую ценность для теории искусственного интеллекта ввиду низкой изученности смыслообразования в интеллектуальных системах. Если доминирующие на практике семан-

тические пространства сосредоточены на статистических отношениях между словами, то концептуальные пространства нацелены на отражение глубинной структуры самих понятий. По этой причине для данного исследования были взяты концепты базовых цветов и форм; они представляют собой минимальные концептуальные единицы (Кубрякова и др., 1996) и определенным образом структурируют наш сенсорный опыт.

Существующие теории предлагают разные гипотезы локализации абстрактных концептов. Теория двойного кодирования говорит о том, что абстрактные понятия и слова представлены в вербальной системе, тогда как только конкретные понятия представлены как вербальными, так и образными кодами. Также предполагается, что размещение внутренних состояний и эмоций опирается на нейрокогнитивные системы моторной активности (Dreyer, Pulvermüller, 2018). Оценка локализации базовых концептов позволит указать, какие механизмы задействованы в формировании и функционировании ментального пространства и ментального лексикона. Под локализацией в данном исследовании мы понимаем поиск ЭЭГ-коррелятов представления концептов, хотя в обсуждении мы также высказываем предположение о нейроанатомической локализации процесса и связанной с ней функциональной роли концепта в системе обработки информации.

Гипотеза. Актуальные работы в области интерфейсов мозг – компьютер сосредоточены на изучении не только моторных задач, но и более легко выполнимых задач визуального воображения. Несмотря на сложность выделения значимых компонентов ЭЭГ, некоторые исследования показали высокую точность при классификации активности во время выполнения различных задач визуального воображения (Fu et al., 2022). Опираясь на эти данные, мы предполагаем, что существуют значимые различия в биоэлектрической активности головного мозга (ЭЭГ) при представлении разных базовых концептов.

Методы

В эксперименте приняли участие 14 нейротипичных респондентов, средний возраст которых составил 23.5 года ($SD=3.2$), из которых 28.5% были мужского пола. Запись электроэнцефалограммы осуществлялась на портативной нейрогарнитуре Mitsar-EEG-SmartBCI (ООО «Мицар», Санкт-Петербург), записывающей 24 канала, по международной системе 10–20, импеданс электродов поддерживался на уровне ниже 10 кОм. Эксперимент был реализован в программе Neurobureau, где были оформлены инструкции ко всему эксперименту и к 11 экспериментальным эпохам: запись фоновой биоэлектрической активности головного мозга до и после эксперимента и девяти аудиостимулов. Стимулы представляли собой базовые концепты цвета («красный», «синий», «желтый»), формы («квадрат», «круг», «треугольник») и цветной фигуры («красный квадрат», «синий круг», «желтый треугольник»), каждый из них был записан голосом и выровнен по длине (3000 мс), например: «Сейчас представьте красный квадрат».

После предъявления инструкции начиналась запись ЭЭГ. Участников исследования просили закрыть глаза и не открывать их до конца эксперимента.

Далее шла регистрация фоновой активности в течение минуты, после чего поочередно предъявлялись аудиостимулы, в которых обозначался определенный образ. Каждый из них было необходимо представить и удерживать в течение 30 секунд. После предъявления всех стимулов повторно записывалась фоновая активность головного мозга, и затем участники заполняли опрос на сложность визуализации каждого стимула.

Предобработка данных включала несколько этапов: фильтрация, интерполяция, удаление артефактов и ре-референсинг. На фильтрации были установлены верхний порог – 1 Гц и нижний порог – 40 Гц в соответствии с международными нормами обработки ЭЭГ-данных при решении ментальных задач (del R Millan et al., 2002; Ivanitsky, 2019). Каналы FpZ и Oz были исключены из дальнейшего анализа. Для удаления глазодвигательных артефактов был использован метод независимых компонент (ICA).

Для анализа зависимости между биоэлектрической активностью в определенных отведениях и категорией представляемого концепта были использованы частотно-временной анализ с использованием вейвлета Морле и однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Данные тета-, альфа- и бета-активностей ЭЭГ в 20 каналах были усреднены для каждого стимула, затем было проанализировано влияние определенной активности в каждом отведении на предсказание одной из трех категорий. Парные сравнения были дополнительно рассчитаны с поправкой Бонферрони для множественных сравнений.

Результаты и обсуждение

Получены значимые результаты для каналов Fp1 в тета-диапазоне: $F(2,6) = 17.183$, $p = .003$; в альфа-диапазоне: $F(2,6) = 16.570$, $p = .004$; Fp2 в бета-диапазоне: $F(2,6) = 12.848$, $p = .007$; и Fz в бета-диапазоне: $F(2,6) = 24.263$, $p = .001$ (см. рис. 1). По остальным отведениям значимых различий не обнаружено.

Полученные результаты указывают на наличие значимых различий в паттернах активности префронтальной зоны коры головного мозга для представления базовых концептов в пределах тета-, альфа- и бета-активности. Так, активность в отведениях Fp1, Fp2 и Fz значимо различается при представлении цвета, фигуры, а также цветной фигуры. В работе с использованием магнитоэнцефалографии (МЭГ) показано, что кортикальный бета-ритм, возникающий во фронтальных и центральных отведениях, связан с процессами присвоения объекту определенного семантического значения (Visani et al., 2022). Таким образом, локализация базовых концептов поддерживает подход воплощенного познания к семантической обработке.

Мы полагаем, что префронтальная кора может играть более непосредственную роль в представлении концептуальной информации, поскольку поставленная задача заключалась именно в продолжительном представлении абстрактного концепта. Активность зон префронтальной коры, зарегистрированная фронтальными отведениями ЭЭГ, может указывать на процессы генерализации предыдущего опыта при опоре на различные когнитивные функции (multiple cognitive domains; Bowman, Zeithamova, 2018).

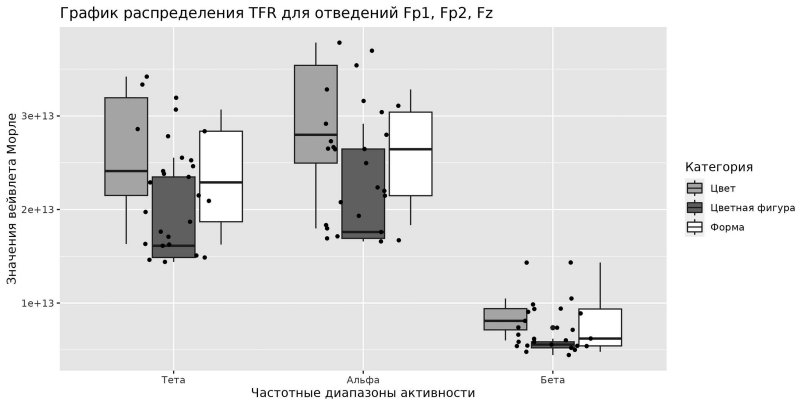


Рисунок 1. Значения вейвлета Морле для значимых отведений в диапазонах альфа-, бета- и тета-активности

Выводы

В данном исследовании показана специфика ритмической активности головного мозга во фронтальных отведениях при воображении базовых концептов. Базовые концепты цвета и формы представляют собой уже знакомую участникам исследования информацию, в связи с чем основная активность по ее извлечению, визуализации и синтезированию происходила именно в префронтальной коре, что подтверждается наличием статистически значимых различий в пределах тета-, альфа- и бета-активности в отведениях Fp1, Fp2 и Fz.

Направления будущих исследований. В рамках дальнейших исследований планируется поиск корреляций между особенностями ритмической активности и результатами теста на пространственное мышление, данными пост-опросника. Также нас интересуют ритмические и пространственные корреляции между определенными парами концептов — например, «желтый» и «желтый треугольник».

Ограничения. Результаты данного исследования невозможно в полной мере распространить на генеральную совокупность в связи с небольшим размером выборки. Задание требовало значимых когнитивных ресурсов на уровне удержания внимания, с чем и могут быть связаны различия по фронтальным отведениям.

Литература

Кубрякова Е.С., Демьянков В.З., Панкрац Ю.Г., Лузина Л.Г. Краткий словарь когнитивных терминов. М.: МГУ, 1996.

Маслова В.А. Когнитивная лингвистика. М.: Флинта, 2004.

Холодная М.А. Особенности организации концептуальных структур: онтологический подход // Когнитивные исследования: сб. научных трудов. Вып. 5 / Под ред. А.А. Кибрика, Т.В. Черниговской, А.В. Дубасовой. М.: ИПРАН, 2012. С. 177 – 193.

Bowman C.R., Zeithamova D. Abstract memory representations in the ventromedial prefrontal cortex and hippocampus support concept generalization // *The Journal of Neuroscience*. 2018. Vol. 38. No.10. P. 2605–2614. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.2811-17.2018>

Dreyer F.R., Pulvermüller F. Abstract semantics in the motor system? – An event-related fMRI study on passive reading of semantic word categories carrying abstract emotional and mental meaning // *Cortex*. 2018. Vol. 100. P. 52–70. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.10.021>

Fu Y., Li Z., Gong A., Qian Q., Su L., Zhao L. Identification of visual imagery by electroencephalography based on empirical mode decomposition and an autoregressive model // *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022. Vol. 2022. P. 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/1038901>

Ivanitsky G.A. Individual stable patterns of human brain rhythms as a reflection of mental processes // *Sovremennye tehnologii v medicine*. 2019. Vol. 11. No. 1. P. 116. <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.1.14>

del R Millan J., Mourino J., Franze M., Cincotti F., Varsta M., Heikkonen J., Babiloni F. A local neural classifier for the recognition of EEG patterns associated to mental tasks // *IEEE Transactions on Neural Networks*. 2002. Vol. 13. No. 3. P. 678–686. <https://doi.org/10.1109/TNN.2002.1000132>

Visani E., Sebastiano D., Duran D., Garofalo G., Magliocco F., Silipo F., Buccino G. The semantics of natural objects and tools in the brain: A combined behavioral and MEG study // *Brain Sciences*. 2022. Vol. 12. No. 1. P. 97. <https://doi.org/10.3390/brainsci12010097>

LOCALIZATION OF THE BASIC CONCEPTS OF COLOR AND SHAPE IN ELECTRICAL ACTIVITY IN THE BRAIN

A. V. Antipova* (1), V. A. Lipatov (2), K. M. Ryseva (1), P. A. Lekhnitskaya (3),
A. O. Rogachev (4)
annaantipova1415@gmail.com

1 – Lomonosov Moscow State University, Moscow;

2 – Volgograd State University, Volgograd;

3 – Kazan (Volga region) Federal University, Kazan;

4 – Sirius University of Science and Technology, Sochi

Abstract. Conceptual space is an especially relevant topic for modern cognitive research, cognitive linguistics, artificial intelligence, philosophy, and neural interfaces. An assessment of the localization of basic concepts will aid in determining the mechanisms involved in the formation and functioning of the mental space. Within the framework of this study, the localization of the basic concepts “color”, “figure” and “colorful figure” was considered. The study involved 14 respondents (age $M=23.5$, $SD=3.2$ years; 4 male respondents) who were instructed to visualize an image for 30 seconds, during which an EEG was recorded. The results indicate the presence of significant differences in the activity of the prefrontal cortex within the theta-, alpha- and beta-activity. The results can be used to develop a visual imagery brain-computer interface (VI-BCI) and to provide a theoretical basis for studying rhythmic and spatial correlations between certain pairs of concepts, such as “yellow” and “yellow triangle”.

Keywords: concept, mental space, neural interface, abstract concepts, color, shape

The study was conducted within the framework of the program of additional professional education “Modern Methods of Cognitive Research” in the Scientific and Technological University “Sirius”.