

# 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

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЭГ ПРИ БОЛЬШЕМ ИЛИ МЕНЬШЕМ РАССОГЛАСОВАНИИ ИМЕЮЩЕГОСЯ ОПЫТА ПРИ НАУЧЕНИИ

Е. А. Кокушева (1), О. Е. Сварник\* (1, 2)

[olgaesvarnik@yandex.ru](mailto:olgaesvarnik@yandex.ru)

1 – МФТИ, Москва; 2 – ИП РАН, Москва

**Аннотация.** Анализ суммарной активности мозга испытуемых часто проводится в процессе выполнения уже выученного поведения, а исследования закономерностей, присущих самому процессу научения, крайне немногочисленны. В данной работе мы проводили анализ мощности спектра ЭЭГ и стратегий поведения при формировании навыка поиска логических закономерностей в компьютерной игре типа квест. Было обнаружено, что одним из ЭЭГ-коррелятов успешного поведения при научении может быть снижение выраженности низкочастотного диапазона ЭЭГ. При этом оказалось, что меньшая реорганизация имеющегося опыта (меньшая степень рассогласования при научении) может отражаться в большей мощности диапазона низких частот. Полученные феномены могут объясняться на основе представления об имеющемся опыте как совокупности систем разного возраста.

**Ключевые слова:** ЭЭГ, научение, компьютерная игра типа квест, мозг, успешность научения

Исследование поддержано проектом РФФИ No 22-18-00435.

### Введение

Анализ суммарной активности мозга часто проводится в процессе выполнения уже выученного поведения, а исследования закономерностей, присущих самому процессу научения, крайне немногочисленны. При этом известно, что и показатели научения, и частотные характеристики ЭЭГ довольно сильно варьируются от человека к человеку. Какие особенности мозговой активности связаны с быстрым научением, в настоящее время остается недостаточно исследованным. Однако можно предположить, что скорость обучения может зависеть от уровня временной дедифференциации актуализированного индивидуального опыта в ситуации рассогласования (Александров и др., 2017), а уровень дифференциации может быть оценен по наличию выраженности низкочастотного спектра ЭЭГ (Греченко и др., 2015). При этом необходимо отметить, что связь между различными частотными диапазонами и теми или иными аспектами поведения остается многозначной (Knyazev, 2012).

### Методика

В данной работе мы проводили регистрацию поведения и суммарной мозговой активности (ЭЭГ) у испытуемых ( $n=10$ , студенты московских ву-

зов) в процессе поиска логических закономерностей решения задачи в компьютерной игре типа квест.

Задача испытуемых заключалась в обнаружении возможности поместить машинку в гараж, однако гараж оказывался открытым только при выполнении правильных действий в ответ на сигналы трех последовательных светофоров. Чтобы гараж открылся при приближении машинки, испытуемым предварительно было необходимо принять правильное решение относительно каждого из трех светофоров (например, проехать/остановиться на зеленый/красный сигнал первого светофора или проехать слева или справа в зависимости от появления квадрата или треугольника на светофоре номер два). Испытуемым давалась инструкция обнаружить последовательность действий для открытия гаража. На каждый этап научения (три этапа – три светофора) отводилось 20 минут.

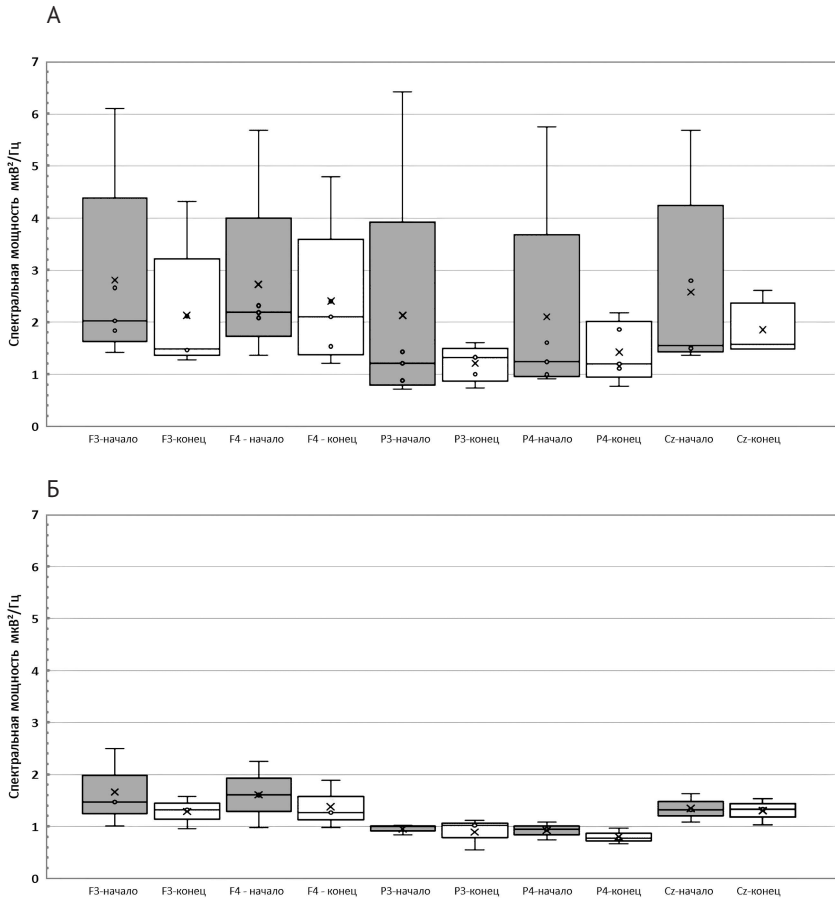
Регистрация проводилась с помощью хлорсеребряных электродов по международной системе 10–20. В качестве индифферентного электрода выступают объединенные электроды, расположенные на сосцевидных отростках. Контактное сопротивление в пределах 10 кОм. Частота дискретизации для ЭЭГ и ЭОГ – 250 Гц. Верхняя граница полосы пропускания регистрирующей системы – 70 Гц, нижняя – 0.1 Гц. Частота работы режекторного фильтра – 50 Гц.

Проведен анализ поведения, целью которого было выявление закономерностей обучения и обнаружение схожих сценариев. Для анализа поведенческие акты кодировались числами, что дало возможность представить их в виде  $n$ -мерных векторов, которые уже можно было сравнить, используя математические методы, а именно косинусное сходство векторов (оценка угла между векторами). Также оценивалась успешность последовательности поведенческих актов по тому, привела используемая испытуемым траектория к открытому гаражу или нет.

Для оценки спектральной мощности использовалась временная эпоха длительностью одна секунда перед тем, как испытуемый выполнял действие на светофоре, что, предположительно соответствует принятию решения. В настоящую работу вошло только сопоставление результатов для первого и второго светофоров.

## **Результаты**

Анализ поведения позволил разделить испытуемых на группы в зависимости от степени освоения каждого этапа задачи и всей задачи целиком: научившиеся к концу этапа (эксперимента), находившиеся в поиске решения до конца этапа (эксперимента) и сразу нашедшие решение на каком-то этапе. Состав групп зависел от конкретного этапа обучения. При обучении первому светофору, где решение задачи поиска последовательности действий, ведущих к открытому гаражу, было более простым, большая часть испытуемых справились с заданием и нашли решение к концу обучения, некоторые демонстрировали успешное поведение с самого начала, практически минуя период поиска. Внутри более сложного обучения испытуемые равномерно распределились в три группы по успешности. Причем между группой научившихся и не научившихся обнаружилась тенденция изменений длительности принятия решения на



**Рисунок 1.** Динамика мощности низкочастотного диапазона на этапе первого светофора (А) и второго светофора (Б). Обозначения: x – среднее значение, горизонтальная линия в боксе – медиана, границы ящика – квартильный размах, концы «усов» – максимальное и минимальное значение

втором светофоре: успешно научившиеся быстрее принимали решения в конце эксперимента (Критерий Манна-Уитни,  $U = 2$ ,  $W = 25$ ,  $p = .05$ ).

Спектральный анализ соответствующих поведенческих актов для более сложного обучения второму светофору, проведенный по группам, показал, что изменения мощности в низкочастотном диапазоне к концу обучения являются разнонаправленными у групп успешно и неуспешно обучившихся: в первом случае мощность уменьшается на последних этапах выполнения задачи, а во втором увеличивается (особенно во фронтальных отведениях). Анализ дельта- и тета-диапазонов по отдельности показал схожие результаты: и в том, и в дру-

гом случае испытуемые из группы «неуспешные» демонстрируют увеличение мощности этих диапазонов.

Спектральный анализ ЭЭГ-мощностей у группы «научившиеся» при обучении первому и второму светофору (рис. 1) по-отдельности показал, что динамика изменений сходна, направления совпадают, причем в обучении первому светофору спад мощностей к концу обучения более выражен в отведениях P3, P4 и Cz, чем при обучении второму светофору, где задача была сложнее и успешным обучение оказалось для меньшего числа испытуемых. Обнаружилась большая мощность низкочастотного диапазона на этапе научения первому светофору по сравнению со вторым (критерий Вилкоксона,  $z = -2.02$ ,  $p = .04$ ).

### Обсуждение и выводы

Известно, что имеющийся у индивидов опыт приобретается на разных этапах жизни, при этом при выполнении любого поведения актуализируются системы разного возраста, а история взаимодействий с окружающей средой в процессе формирования опыта проявляется в структуре индивидуального опыта (Горкин и др., 1990). При этом было показано, что ситуация научения характеризуется кратковременным увеличением доли старого опыта, то есть активности в нейронных группах старого опыта больше, а в относительно новых меньше (так называемая дедифференциация опыта; Александров и др., 2017). В то же время существует предположение, что низкочастотный спектр может быть связан с актуализацией более старых систем (Кныазев, 2012). Таким образом, полученные результаты могут свидетельствовать в пользу того, что затянувшееся научение (рассогласование) у неуспешных испытуемых связано с большей дедифференцированностью актуализированного опыта. Также, по-видимому, можно говорить о том, что меньшая степень рассогласования имеющегося опыта (в случае этапа первого светофора) отражается в большей мощности низкочастотного диапазона.

### Литература

Александров Ю.И., Сварник О.Е., Знаменская И.И., Колбенева М.Г., Арутюнова К.Р., Крылов А.К., Булава А.И. Регрессия как этап развития. М.: ИП РАН, 2017.

Горкин А.Г., Кузина Е.А., Ивлиева Н.П., Соловьева О.А., Александров Ю.И. Паттерны активности нейронов ретроспленальной области коры в инструментальном пищевом поведении у крыс разного возраста // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 1990. Т. 40. № 3. С. 334 – 340. <https://doi.org/10.7868/s0044467717030042>

Греченко Т.Н., Харитонов А.Н., Жегалло А.В. Инвариантные частоты биоритмов живых организмов разного эволюционного возраста // Психологический журнал. 2015. Т. 36. № 3. С. 90 – 101. <https://doi.org/10.7868/s020595921803008x>

Knyazev G.G. EEG delta oscillations as a correlate of basic homeostatic and motivational processes // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2012. Vol. 36. No. 1. P. 677 – 695. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.10.002>

## SPECTRAL ANALYSIS OF EEG SIGNALS UNDER HIGHER OR LOWER EXPERIENCE MISMATCH DURING LEARNING

E. A. Kokusheva (1), O. E. Svarnik\* (1, 2)

[olgaesvarnik@yandex.ru](mailto:olgaesvarnik@yandex.ru)

1 – MIPT, Moscow; 2 – IP RAS, Moscow

**Abstract.** The analysis of an individual's total brain activity is often carried out in the process of performing already learned behaviors, and studies of the patterns inherent in the learning process itself are very rare. In this paper, we analyzed the power of the EEG spectrum and behavioral strategies in the formation of the skill of searching for logical patterns in a quest-type computer game. It was found that one of the EEG correlates of successful learning behavior may be a decrease in the power of the low frequency range of the EEG. At the same time, a smaller reorganization of the existing experience (a lower degree of mismatch during learning) can be reflected in a higher power of the low frequency range. The observed phenomena can be explained on the basis of the idea of existing experience as a set of systems of different age.

**Keywords:** EEG, learning, quest-type computer game, brain, success

Research supported by Russian Science Foundation (No. 22-18-00435).