

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623326>

Нейронные механизмы ассоциативной корковой пластичности в когнитивных процессах: магнитоэнцефалографические исследования

Б.В. Чернышев^{1, 2*}, К.И. Пульцина¹, В.Д. Третьякова¹, А.М. Разоренова¹, А.А. Павлова¹, Т.А. Строганова¹

¹ Московский государственный психолого-педагогический университет, Москва, Российская Федерация;

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Считается, что овладение семантикой слов речи основано на биологических механизмах ассоциативного обучения [1]. Однако текущее понимание мозговых механизмов обучения и памяти преимущественно базируется на простых моделях (включая модели на животных), в то время как механизмы обучения в когнитивной области остаются в значительной степени неизвестными. Семантическое обучение речи является хорошим примером таких когнитивных процессов, мозговые механизмы которых не могут быть легко объяснены на уровне простых нейронных сетей. В частности, до сих пор нет чёткого понимания ряда процессов, лежащих в основе такого обучения — включая механизмы, обеспечивающие корреляционное совпадение нейронных репрезентаций, необходимое для Хеббовской пластичности, реверберационное воспроизведение ассоциируемой репрезентации в рабочей памяти, вовлечение консолидации и т.д.

Чтобы исследовать эти вопросы, мы провели серию экспериментов, моделирующих семантическое научение словам, связанным с действиями. Мы использовали новую экспериментальную процедуру семантического научения, основанную на обучении методом проб и ошибок, в ходе которой участники активно приобретали ассоциации между псевдословами и действиями. Экспериментальная процедура включала презентации акустически выровненных псевдослов, которые были незнакомы участникам до начала эксперимента. Задача участников заключалась в выполнении движений конечностями (руками и ногами) в ответ на соответствующие псевдослова. Положительная или отрицательная обратная связь подавалась в каждой реализации в зависимости от действий участника. МЭГ регистрировали не только во время обучения, но и во время пассивного предъявления тех же псевдослов до и после обучения, что позволяло контролировать эффекты внимания и подготовки к движению. Мы анализировали связанные с событиями поля и осцилляции в бета-диапазоне.

Наши эксперименты показали, что кортикальная пластичность, связанная с обучением словам, может быть выявлена сразу после обучения, без какого-либо длительного времени для консолидации [2].

Мы обнаружили два эффекта, развивающихся в процессе обучения, которые могут способствовать Хеббовской пластичности, связывающей слуховые репрезентации псевдослов с ассоциируемыми движениями.

Во-первых, мы обнаружили реактивацию слухоречевых репрезентаций во время инициации движения. По-видимому, именно этот механизм создаёт условия для временного совпадения активаций в двух ассоциируемых репрезентациях — слуховой репрезентации речи и репрезентации моторной программы.

Во-вторых, мы обнаружили, что в процессе обучения возникает значительное усиление мощности бета-осцилляций во время и после выполнения моторного действия. Этот эффект включал в себя не только обычную бета-синхронизацию в сенсомоторных областях коры после движения, но и резкое увеличение мощности бета-колебаний во множестве ассоциативных областей коры. Мы полагаем, что такие бета-осцилляции представляют собой реверберационный механизм закрепления ассоциативной связи и защиты её от помех [3].

В дальнейших экспериментах мы расширили процедуру, и проводили процедуру обучения на протяжении двух последовательных дней, с ночным сном между двумя записями. Мы оценивали динамику мощности бета-осцилляций, сопровождающую как обучение новым псевдословам в первый день, так и повторение задачи после ночного сна на второй день. Связанная с событиями бета-синхронизация в лобных областях появлялась сразу после того, как правила были выучены в первый день, и не менялась ни после сна, ни после повторения во второй день. Таким образом, динамика префронтального бета-ритма отражала изменение в поведении: достигнув критерия обученности в первый день, участники продолжали практически безошибочно выполнять задачу на второй день. Напротив, связанная с событиями бета-синхронизация в задней височной и теменной коре непрерывно росла на протяжении всего второго дня, что, предположительно, играет роль в консолидации вновь выученных ассоциаций в долговременной памяти.

Рукопись получена: 11.05.2023

Рукопись одобрена: 26.11.2023

Опубликована online: 20.01.2024

Таким образом, результаты наших исследований выявили комплекс физиологических механизмов пластичности человеческого мозга в когнитивной сфере.

Ключевые слова: ассоциативное обучение; обучение с подкреплением; память; слова, связанные с действиями; бета-синхронизация после движения; магнитоэнцефалография.

Как цитировать:

Чернышев Б.В., Пульцина К.И., Третьякова В.Д., Разоренова А.М., Павлова А.А., Строганова Т.А. Нейронные механизмы ассоциативной корковой пластичности в когнитивных процессах: магнитоэнцефалографические исследования // Гены и клетки. 2023. Т. 18, № 4. С. 602–605. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623326>

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Исследование проводилось в рамках государственного задания Министерства образования Российской Федерации (№ 073-00038-23-02 от 13.02.2023, «Исследования мозговых механизмов семантического научения с помощью магнитоэнцефалографии»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pulvermuller F. Neural reuse of action perception circuits for language, concepts and communication // Progress in Neurobiology. 2018. Vol. 160. P. 1–44. doi: 10.1016/j.pneurobio.2017.07.001
2. Razorenova A.M., Chernyshev B.V., Nikolaeva A.Y., et al. Rapid Cortical Plasticity Induced by Active Associative Learning of Novel Words in Human Adults // Frontiers in Neuroscience. 2020. Vol. 14. P. 895. doi: 10.3389/fnins.2020.00895
3. Pavlova A., Tyulenev N., Tretyakova V., et al. Learning of new associations invokes a major change in modulations of cortical beta oscillations in human adults // Psychophysiology. 2023. Vol. 60, N 8. P. e14284. doi: 10.1111/psyp.14284

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

* Б.В. Чернышев; адрес: Российская Федерация, 127051, Москва, ул. Сретенка, д. 29; e-mail: b_chernysh@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623326>

Neural mechanisms of associative cortical plasticity in cognitive domain: Magnetoencephalographic studies

B.V. Chernyshev^{1, 2*}, K.I. Pultsina¹, V.D. Tretyakova¹, A.M. Razorenova¹, A.A. Pavlova¹, T.A. Stroganova¹¹ Moscow State University of Psychology and Education, Moscow, Russian Federation;² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Acquisition of language semantics is widely believed to be facilitated by biological mechanisms of associative learning [1]. However, current understanding of brain mechanisms underlying learning and memory is primarily based on simple models, including animal models, with mechanisms of learning in the cognitive realm largely unknown. Semantic language learning serves as a compelling example of these cognitive processes, whose brain mechanisms pose a challenge to explanation at the level of basic neural networks. Particularly, many processes underlying such learning still lack clear understanding, including the mechanisms that enable correlational coincidence of neuronal representation required for Hebbian plasticity, the reverberatory replay of the to-be associated representations in working memory, and the involvement of consolidation, among others.

We conducted a series of studies modeling the acquisition of semantic knowledge of action-related vocabulary to investigate these questions. We implemented a unique trial-and-error-based procedure for semantic acquisition, in which participants obtained associations between newly introduced pseudowords and actions through active learning. The experimental procedure comprised the delivery of acoustically equivalent pseudowords that were previously unknown to the subjects. Participants were instructed to execute movements of their hands and feet in response to specific pseudowords. Following each trial, participants received either positive or negative feedback depending on their performance. During the learning phase, MEG was recorded, as well as during passive presentations of the same pseudowords before and after learning to control for attention and motor preparation effects. Our analysis involved event-related fields and beta oscillations.

Our experiments showed that cortical plasticity related to word learning could be detected immediately after learning, without the need for prolonged consolidation time [2].

We observed two effects during learning that could contribute to Hebbian plasticity by linking auditory speech representations of pseudowords with associated movements.

First, we observed the reactivation of auditory speech representations during the initialization of movement. This mechanism apparently creates the conditions for temporal coincidence of activations in two representations, specifically an auditory speech representation and a representation of a motor program.

During the learning process, we observed a considerable rise in beta oscillations that occurred during and after action execution. This effect comprised a typical beta-rebound in the sensorimotor regions and a significant surge in beta activity in various associative cortical regions. We postulate that these beta oscillations constitute a reverberation mechanism that reinforces the associative connection and guards it against potential interference [3].

In further experiments, we administered the learning process over two consecutive days with an overnight interval between recordings. We evaluated beta power dynamics during the acquisition of novel pseudowords on day 1 and during task rehearsal following overnight sleep on day 2. Beta event-related synchronization in the frontal regions emerged upon the attainment of the pseudoword learning rules on day 1, and remained unchanged after sleep and subsequent rehearsal on day 2. The prefrontal beta rhythm's dynamics mirrored the corresponding behavioral changes: subjects executed the task with minimal errors on day 2 upon meeting the learning criterion on day 1. Beta event-related synchronization augmented continuously in the posterior temporal and parietal cortices on day 2 and potentially contributed towards the assimilation of newly-acquired associations in long-term memory.

In summary, our research offers fresh perspectives on the intricate neural mechanisms underlying plasticity in the human brain within the cognitive domain.

Keywords: associative learning; reward learning; memory; action words; post-movement beta synchronization; magnetoencephalography.

To cite this article:

Chernyshev BV, Pultsina KI, Tretyakova VD, Razorenova AM, Pavlova AA, Stroganova TA. Neural mechanisms of associative cortical plasticity in cognitive domain: Magnetoencephalographic studies. *Genes & Cells*. 2023;18(4):602–605. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623326>

Received: 11.05.2023**Accepted:** 26.11.2023**Published online:** 20.01.2024

ADDITIONAL INFORMATION

Funding sources. Our study was conducted as part of the state assignment of the Ministry of Education of the Russian Federation (No. 073-00038-23-02 of 13.02.2023, entitled “Investigation of the neural mechanisms underlying semantic learning using magnetoencephalography”).

REFERENCES

1. Pulvermuller F. Neural reuse of action perception circuits for language, concepts and communication. *Progress in Neurobiology*. 2018;160:1–44. doi: 10.1016/j.pneurobio.2017.07.001
2. Razorenova AM, Chernyshev BV, Nikolaeva AY, et al. Rapid Cortical Plasticity Induced by Active Associative Learning of Novel Words in Human Adults. *Frontiers in Neuroscience*. 2020;14:895. doi: 10.3389/fnins.2020.00895
3. Pavlova A, Tyulenev N, Tretyakova V, et al. Learning of new associations invokes a major change in modulations of cortical beta oscillations in human adults. *Psychophysiology*. 2023;60(8):e14284. doi: 10.1111/psyp.14284

AUTHORS' CONTACT INFO

* B.V. Chernyshev; address: 29 Sretenka street, 127051 Moscow, Russian Federation; e-mail: b_chernysh@mail.ru