

Секция «Психофизиология, когнитивные нейронауки и искусственный интеллект»

**Уменьшение задержки при нейророботной связи влияет на эффективность тренировки затылочного альфа-ритма**

**Научный руководитель – Осадчий Алексей Евгеньевич**

***Белинская Анастасия Андреевна***

*Студент (магистр)*

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Факультет социальных наук, Москва, Россия

*E-mail: belinskaya.anastasy@gmail.com*

В этом исследовании мы реализовали задачу нейробиологической обратной связи (НОС), в которой участники следили и пробовали контролировать свой париетальный электроэнцефалографический (ЭЭГ) альфа-ритм. Нам было интересно исследовать, как различные значения задержки в предъявлении сигнала обратной связи испытуемому будут влиять на эффективность обучения.

НОС-это парадигма замкнутой петли, в которой испытуемым предоставляется индикатор собственной мозговой активности, которую они учатся изменять определенным желаемым образом [3]. В типичном эксперименте НОС нейронная активность записывается, преобразуется в представляющие интерес паттерны, обрабатывается для генерации выходного сигнала и доставляется испытуемому в качестве сенсорного стимула, обычно визуального или слухового. Тренировка с помощью НОС приводит к изменениям в задействованных нервных цепях. Считается, что нейророботная связь может служить примером оперантного обусловливания, при котором в ответ на поведенческие реакции (в нашем случае на паттерны нейронной активности), экспериментатор предъявляет испытуемому награду усиливающей желаемое поведение. Для классической задачи оперантного обусловливания время от момента целевого действия до предъявления награды критически важно, поэтому мы предположили, что для задачи нейророботной связи задержка в предъявлении сигнала будет также иметь важное значение.

Нейророботная связь на данный момент является крайне перспективным, но дискуссионным направлением. Практический интерес к данному подходу объясняется тем, что НОС-терапия может стать альтернативным способом лечения неврологических расстройств. Поскольку, по крайней мере теоретически, НОС может нацеливаться на нейронные цепи очень специфично, этот метод может дополнить или даже заменить традиционные фармакологические и когнитивные- улучшение терапии. Однако, несмотря на большие ожидания и многочисленные исследования методов лечения на основе НОС, этот подход остается спорным из-за высокой вариабельности его результатов и отсутствия улучшений в значительном количестве случаев. Мы считаем, что трудности в разработке эффективных методов лечения на основе нейророботной связи коренятся в недостаточном понимании физиологических эффектов НОС и проблемах, связанных с эргономикой, а также в проблемах с обработкой сигналов [1, 2].

В данном исследовании нами было показано, что задержка обратной связи является критическим параметром в ряде приложений, предполагающих обучение. Терапевтические эффекты нейробиоуправления (НОС) остаются спорными. Мы предположили, что часто встречающиеся ненадежные или противоречивые результаты тренировок нейророботной связи могут быть связаны с большими значениями задержки обратной связи, которые часто неконтролируемы и могут препятствовать эффективному обучению.

Методы: В нашем исследовании участвовало 40 испытуемых, которые тренировались с помощью зрительной нейророботной связи, основанной на неизменно извлеченной огибающей альфа-ритма на электроде P4. Все испытуемые были разделены на 4 группы по

10 человек в каждой. Одной группе обратная связь отражалась с минимально возможной задержкой на данный момент (порядка 200 мс), двум другим группам искусственно добавлялась дополнительная задержка 250 или 500 мс, четвертая группа была контрольной и в ней демонстрировался ложный сигнал обратной связи, не имеющий отношения к мозговой активности испытуемых. Тренировка с обратной связью состояла из 15-ти двухминутных блоков, чередующихся с 15-секундными паузами. Мы также записали двухминутные исходные данные непосредственно до и после тренировки с закрытыми и открытыми глазами.

Основные результаты: Динамика вызванных тренировкой изменений мощности альфа-ритма явно зависела от латентности нейрообратной связи. Все группы реальной обратной связи значимо лучше обучались, чем контрольная группа и группа с минимальной задержкой обучалась лучше чем группы с добавленной искусственной задержкой, которые соответствовали задержке типичных коммерческих НОС систем. Дополнительно было проанализировано более детальное изменение альфа ритма в течении тренировки. Мощность альфа ритма можно разделить на три основных характеристики: частота возникновения альфа пиков, их амплитуда и длительность. В предыдущем нашем исследовании было показано, что частота альфа веретен это ведущая характеристика для НОС-тренингов[4]. В данном исследовании тренировка нейрообратной связи так же оказала сильное влияние на частоту возникновения альфа-веретена, но не на их продолжительность или амплитуду. Устойчивые изменения альфа-активности, измеренные после завершения обучения НОС, были отрицательно коррелированы с задержкой, с максимальным изменением для самой короткой протестированной задержки и без изменений для самого длительного.

Актуальность: В данном исследовании мы впервые показали, что визуальная обратная связь для париетальной электроэнцефалографической (ЭЭГ) альфа-активности эффективна только тогда, когда предъявляется людям с минимальной задержкой, что гарантирует, что НОС прибывает, когда альфа-веретено находится на пике, а не на спаде. Столь значительное влияние задержки нейрообратной связи на временную структуру альфа-активности может объяснить некоторые из предыдущих противоречивых результатов, в которых задержка не контролировалась и не документировалась. Практикующие врачи и производители оборудования НОС должны добавлять задержку к своим спецификациям, обеспечивая при этом мониторинг задержки и поддержку операций с короткой задержкой.

### Источники и литература

- 1) Smetanin, N., Belinskaya, A., Lebedev, M., & Ossadtchi, A. (2020). Digital filters for low-latency quantification of brain rhythms in real time. *Journal of neural engineering*, 17(4), 046022.
- 2) Smetanin, N., Lebedev, M. A., & Ossadtchi, A. (2018). Towards zero-latency neurofeedback. *bioRxiv*, 424846.
- 3) Smetanin, N., Volkova, K., Zabodaev, S., Lebedev, M. A., & Ossadtchi, A. (2018). NFB Lab—A Versatile Software for Neurofeedback and Brain-Computer Interface Research. *Frontiers in neuroinformatics*, 12, 100.
- 4) Ossadtchi, A., Shamaeva, T., Okorokova, E., Moiseeva, V., & Lebedev, M. A. (2017). Neurofeedback learning modifies the incidence rate of alpha spindles, but not their duration and amplitude. *Scientific reports*, 7(1), 1-12.