

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623332>

Исследование осцилляторных коррелят двигательной активности с использованием магнитоэнцефалографии

М.Д. Иванова^{1*}, К.Г. Германова¹, М. Эррохо Руиз²

¹ Центр нейроэкономики и когнитивных исследований, Институт когнитивных нейронаук, Научно-исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Российская Федерация;

² Департамент психологии, Голдсмит, Университет Лондона, Лондон, Великобритания

АННОТАЦИЯ

Предыдущие исследования показали, что ожидание вознаграждения повышает двигательную активность за счёт сокращения времени реакции и увеличения скорости передвижения [1]. Наше недавнее исследование [2] продемонстрировало, что в динамичной и неопределённой среде, где участникам необходимо делать выводы об изменяющихся вероятностях вознаграждения, более выраженное ожидание неизменно связано с более быстрыми двигательными показателями. Зависимость моторных показателей от ожидания вознаграждения сохранялась у молодых и пожилых здоровых людей, а также при болезни Паркинсона. Однако нейронные процессы, лежащие в основе этих динамических эффектов двигательной активности, остаются неопределёнными [3].

В рамках исследования мы регистрировали магнитоэнцефалографию (МЭГ) и выполнили индивидуальную структурную магнитно-резонансную томографию (МРТ) у 25 здоровых людей-участников, в то время как они выполняли нашу недавно разработанную задачу по принятию моторных решений на основе вознаграждения, основанную на парадигме обратного обучения с изменяющимися зависимостями стимул-результат [2]. Участники должны были определить, какой из двух стимулов был связан с вознаграждением на данном шаге исследования, и выразить своё решение, выполнив одну из двух последовательностей нажатий пальцами с соответствующей звуковой обратной связью. Эта задача была интегрирована с волатильной средой, и вероятность вознаграждения, связанная с каждой последовательностью, менялась с течением времени.

Сначала мы проанализировали поведение при принятии решений, используя валидированный иерархический гауссовский фильтр (hierarchical gaussian filter, HGF [4]). Моделью, которая наилучшим образом описывала поведенческие данные, стал трёхуровневый «расширенный» HGF для бинарных категориальных входных данных в сочетании с моделью реагирования, в которой решения зависят от оценки волатильности в зависимости от эпохи. Этот анализ позволил нам извлекать траектории ожиданий относительно вероятности вознаграждения от эпохи к эпохе. Затем, используя байесовские линейные смешанные модели, мы показали связь между силой убеждений в отношении непредвиденных обстоятельств вознаграждения и темпом выполнения.

В нашем исследовании мы провели анализ сигналов МЭГ, а также анализ индивидуальной структурной МРТ. Анализ МЭГ был сосредоточен на реконструкции источников осцилляторной активности с помощью структурной МРТ и с использованием бимформинга на основе линейно ограниченной минимальной дисперсии (linearly constrained minimum variance, LCMV [5]). В исходном пространстве мы используем свёрточные модели осцилляторных ответов, чтобы идентифицировать нейронные осцилляторные корреляты, которые отделяют принятие решений от двигательной активности. Далее мы намерены оценить функциональную связность между лобными и моторными областями, лежащими в основе эффектов повышения моторных показателей. Выявление специфических паттернов осцилляторного взаимодействия, которые модулируют двигательную активность, может дать представление о характере двигательных нарушений, наблюдаемых при неврологических и нейропсихиатрических состояниях, на которые влияет поведенческая апатия.

Ключевые слова: магнитоэнцефалография; моторная активность; иерархический гауссовский фильтр; когнитивное моделирование; принятие решений.

Как цитировать:

Иванова М.Д., Германова К.Г., Эррохо Руиз М. Исследование осцилляторных коррелят двигательной активности с использованием магнитоэнцефалографии // Гены и клетки. 2023. Т. 18, № 4. С. 614–617. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623332>

Рукопись получена: 11.05.2023

Рукопись одобрена: 26.11.2023

Опубликована online: 20.01.2024

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-18-00660, <https://rscf.ru/project/22-18-00660/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Summerside E.M., Shadmehr R., Ahmed A.A. Vigor of reaching movements: reward discounts the cost of effort // *Journal of Neurophysiology*. 2018. Vol. 119, N 6. P. 2347–2357. doi: 10.1152/jn.00872.2017
2. Tecilla M., Grossbach M., Gentile G., et al. Modulation of motor vigour by expectation of reward probability trial-by-trial is preserved in healthy ageing and Parkinson's disease patients // *Journal of Neuroscience*. 2023. Vol. 43, N 10. P. 1757–1777. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1583-22.2022
3. Codol O., Holland P., Manohar S.G., Galea J.M. Reward-based improvements in motor control are driven by multiple error-reducing mechanisms // *Journal of Neuroscience*. 2020. Vol. 40, N 18. P. 3604–3620. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2646-19.2020
4. Mathys C.D., Lomakina E.I., Daunizeau J. Uncertainty in perception and the hierarchical gaussian filter // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014. Vol. 8. P. 825. doi: 10.3389/fnhum.2014.00825
5. Van Veen B.D., Van Drongelen W., Yuchtman M., Suzuki A. Localization of brain electrical activity via linearly constrained minimum variance spatial filtering // *IEEE Transactions on biomedical engineering*. 1997. Vol. 44, N 9. P. 867–880. doi: 10.1109/10.623056

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

* М.Д. Иванова; адрес: Российская Федерация, 109548, Москва, пер. Кривоколенный, д. 3, e-mail: ivanova.marina.d@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623332>

Neural oscillatory correlates of motor vigor: an magnetoencephalographic study

M.D. Ivanova¹*, K.G. Germanova¹, M. Herrojo Ruiz²¹ Institute of Cognitive Neuroscience, National Research University "Higher School of economics", Moscow, Russian Federation;² Department of Psychology, Goldsmiths, University of London, London, United Kingdom

ABSTRACT

Previous studies have shown that the anticipation of reward enhances motor performance, which reduces movement time and increases velocity [1]. In our recent study [2], we observed that when participants are required to infer the changing probabilities of a reward in a dynamic and uncertain setting, heightened expectations are consistently associated with faster motor performance. The study showed that performance time sensitivity to prediction strength remained consistent among both young and older healthy adults, as well as those with Parkinson's disease. While the effects of dynamic motor strength have been observed, the neurological processes involved remain to be determined [3].

The study examined the neural oscillatory connections to motor vigor in dynamic and unpredictable settings. We used magnetoencephalography (MEG) and individual structural magnetic resonance imaging (MRI) to record readings from 25 healthy human participants (18 females) during the execution of our newly developed reward-based motor decision-making task [2]. This study used a reversal learning paradigm with shifting stimulus-outcome relationships. Participants were required to deduce which of two stimuli was linked to a reward on each trial, and indicate their choice through one of two finger press sequences, each with a distinct auditory response. The task was conducted in an unstable context, leading to fluctuations in the probability of reward associated with each response over time.

First, we examined decision-making behavior using the validated Hierarchical Gaussian Filter (HGF, [4]). The model that most accurately described the behavioral data was the three-level "extended" HGF for binary categorical inputs, which is paired with a response model where decisions are dependent on the trial-wise estimate of volatility. This study allowed for the generation of reward probability trajectories on a trial-by-trial basis. Subsequently, applying Bayesian linear mixed models, we found a relationship between belief strength regarding reward contingencies and performance tempo on a trial-by-trial basis.

The analysis of MEG signals is centered on reconstructing oscillatory activity sources using Linearly Constrained Minimum Variance beamforming [5]. Currently, we use convolution models in the source space to identify neural oscillatory correlations that differentiate motor performance and decision making. Next, we will evaluate connectivity patterns between frontal and motor regions that underlie the effects of motor invigoration. Identifying particular patterns of oscillatory connectivity that modulate motor vigor can provide insights into motor deficits observed in neurological and neuropsychiatric conditions associated with behavioral apathy.

Keywords: magnetoencephalography; motor vigor; Hierarchical Gaussian Filter; cognitive modeling; decision making.

To cite this article:

Ivanova MD, Germanova KG, Herrojo Ruiz M. Neural oscillatory correlates of motor vigor: an magnetoencephalographic study. *Genes & Cells*. 2023;18(4):614–617. DOI: <https://doi.org/10.17816/gc623332>

ADDITIONAL INFORMATION

Funding sources. This study was funded by a grant from the Russian Science Foundation (No. 22-18-00660, <https://rscf.ru/project/22-18-00660/>).

REFERENCES

1. Summerside EM, Shadmehr R, Ahmed AA. Vigor of reaching movements: reward discounts the cost of effort. *Journal of Neurophysiology*. 2018;119(6):2347–2357. doi: 10.1152/jn.00872.2017
2. Tecilla M, Grossbach M, Gentile G, et al. Modulation of motor vigour by expectation of reward probability trial-by-trial is preserved in healthy ageing and Parkinson's disease patients. *Journal of Neuroscience*. 2023;43(10):1757–1777. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1583-22.2022
3. Codol O, Holland P, Manohar SG, Galea JM. Reward-based improvements in motor control are driven by multiple error-reducing mechanisms. *Journal of Neuroscience*. 2020;40(18):3604–3620. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2646-19.2020

Received: 11.05.2023

Accepted: 26.11.2023

Published online: 20.01.2024

4. Mathys CD, Lomakina EI, Daunizeau J. Uncertainty in perception and the hierarchical gaussian filter. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014;8:825. doi: 10.3389/fnhum.2014.00825
5. Van Veen BD, Van Drongelen W, Yuchtman M, Suzuki A. Localization of brain electrical activity via linearly constrained minimum variance spatial filtering. *IEEE Transactions on biomedical engineering*. 1997;44(9):867–880. doi: 10.1109/10.623056

AUTHORS' CONTACT INFO

* M.D. Ivanova; address: 3 Krivokolennyj lane, 109548 Moscow, Russian Federation; e-mail: ivanova.marina.d@yandex.ru