

3. Hopko D. R., Mahadevan R., Bare R. L., Hunt M. K. The Abbreviated Math Anxiety Scale (AMAS): Construction, Validity, and Reliability // Assessment. 2003. Vol. 2 (10). P. 178–182.

4. Strohmaier A. R., Schiepe-Tiska A., Reiss K. M. A comparison of self-reports and electrodermal activity as indicators of mathematics state anxiety. An application of the control-value theory // Frontline Learning Research. 2020. Vol. 8, № 1. P. 16–32.

Л. В. Яковлев

Н. В. Сыров

А. А. Мирошников

А. Я. Каплан

Н. Н. Шушарина

Балтийский федеральный университет им. И. Канта

Калининград, Россия

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Москва, Россия

Десинхронизация мю-ритма ЭЭГ при мысленном тактильном представлении

Известно, что представление движений характеризуется активацией сенсомоторных кортикальных областей, в том числе выражающейся в форме десинхронизации сенсомоторной активности в ЭЭГ человека. При представлении движений, в частности, происходит обращение к сенсорным модальностям, участвующим в двигательном акте, одной из которых является тактильная чувствительность. В настоящей работе было проведено исследование ЭЭГ-коррелятов активации сенсомоторных регионов коры при тактильном представлении, не связанном с движением. Было показано, что при попытках представления тактильных мысленных образов в отсутствие внешней стимуляции возникает контралатеральная десинхронизация мю-ритма ЭЭГ, возрастающая в ходе экспериментальной сессии. Полученные данные свидетельствуют о существовании тактильной компоненты,

не связанной с движением, принимающей участие в активации сенсомоторных регионов коры при мысленном представлении.

Ключевые слова: десинхронизация, мю-ритм, сенсомоторная интеграция, ментальный тренинг

Lev V. Yakovlev

Nikolay V. Syrov

Andrey A. Miroshnikov

Alexander Ya. Kaplan

Natalya N. Shusharina

Immanuel Kant Baltic Federal University

Kaliningrad, Russia

Lomonosov Moscow State University

Moscow, Russia

Mu-Rhythm Desynchronization During Tactile Imagery

It is known that motor imagery is characterized by the sensorimotor cortical activation. This activation can be assessed in the form of the mu-rhythm event-related desynchronization (ERD) in the human EEG. Motor imagery uses sensory modalities involved in the motor performance, one of which is the tactile sensitivity. In this work, we studied EEG correlation of the sensorimotor cortical activation during tactile imagery, which was not associated with movement. It was shown that during tactile imagery, in the absence of external somatosensory stimulation, there was contralateral mu-rhythm ERD, which also was increasing during the experimental session (learning effect). The obtained data indicate the existence of a tactile component, which is not associated with movement, but involved in the sensorimotor activation in EEG during tactile imagery.

Keywords: event-related desynchronization, mu-rhythm, sensorimotor integration, mental training

Введение. Известно, что представление движений способствует формированию новых двигательных навыков и запуску пластичности на уровне двигательных областей коры больших полушарий. Этот эффект используется в спорте, а также у пациентов после

инсультов и неврологических травм для восстановления двигательной функции [1–4]. Тем не менее, исследования в этой области показывают, что результаты таких тренировок не всегда однозначны, особенно в нейрореабилитации [1]. Во многом это связано с тем, что многократное повторение процедуры двигательного представления приводит к постепенному ухудшению стабильности образа движения вследствие психического утомления. При этом, не имея никаких объективных показателей качества мысленных образов, человек не в силах произвольно контролировать свои мысленные усилия [5]. В этой связи актуален поиск методов и подходов для усиления яркости и мысленных моторных образов. Также остается открытым вопрос о том, какой вклад в формирование мысленных образов движения может вносить соматосенсорная афферентация, обычно сопряженная с движением, но отсутствующая по очевидным причинам при двигательном представлении. Целью настоящего исследования было выявление закономерностей активации сенсомоторных регионов коры в ЭЭГ при соматосенсорной стимуляции и тактильном представлении, не связанных с движением.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 16 здоровых добровольцев (6 женщин), не имевших предварительного опыта ментальной практики (представления движений), в возрасте $22,5 \pm 2,8$ года. Протокол исследования был одобрен комиссией по биоэтике МГУ имени М. В. Ломоносова. Испытуемые обучались мысленному представлению тактильных ощущений, возникающих во время вибрационной стимуляции внутренней стороны запястья правой руки. Структура экспериментальной сессии состояла из четырех экспериментальных условий, следовавших друг за другом: 1) тактильная стимуляция, 2) обучение тактильному представлению, 3) непосредственно тактильное представление и 4) просмотр картинок (контроль). Всего испытуемому предлагалось 20–40 попыток на каждое экспериментальное условие. Во время прохождения экспериментальной сессии регистрировалась 48-канальная ЭЭГ с частотой оцифровки 500 Гц. Для оценки выраженности десинхронизации в каждом канале рассчитывался коэффициент десинхронизации *erd* в диапазоне 10–14 Гц, представлявший собой процентное изменение спектральной мощности ЭЭГ в выбранном диапазоне относительно

состояния покоя. Исходный ЭЭГ-сигнал разбивался для каждого экспериментального состояния на эпохи длительностью 6 с относительно начала попытки, после чего осуществлялись спектральное преобразование и расчет коэффициента десинхронизации. Значения показателя *erd* наносились на двухмерный макет поверхности головы для топографической оценки десинхронизации. Значения десинхронизации в канале С3 усреднялись по группе и сравнивались с применением критерия Вилкоксона между экспериментальными условиями. Для оценки влияния фактора «Номер попытки» на выраженность десинхронизации был использован дисперсионный анализ с повторными измерениями (rm-ANOVA).

Результаты. При тактильной стимуляции правой конечности, так же как и при тактильном представлении (при отсутствии внешней стимуляции), развивалась контралатеральная десинхронизация, максимально выраженная в канале С3, в то время как в контрольном условии наблюдалась синхронизация во всех отведениях (рис. 7).

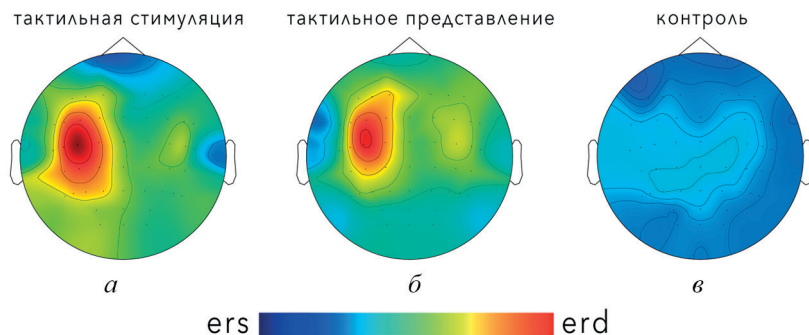


Рис. 7. Усредненные ($n = 16$) топографические карты распределения десинхронизации мю-ритма ЭЭГ (просмотр картинок):
a — при тактильной стимуляции; *б* — при тактильном представлении;
в — при контрольном состоянии*

Десинхронизация в канале С3 была статистически значимо выше ($p < 0,05$) в условиях тактильной стимуляции и тактильного

* Интенсивность красного соответствует величине десинхронизации *erd*, синего — синхронизации.

представления по сравнению с контрольным условием (рис. 8). При этом от попытки к попытке наблюдался рост показателя *erd*, что свидетельствует о выработке навыка тактильного представления в ходе экспериментальной сессии (рис. 9).

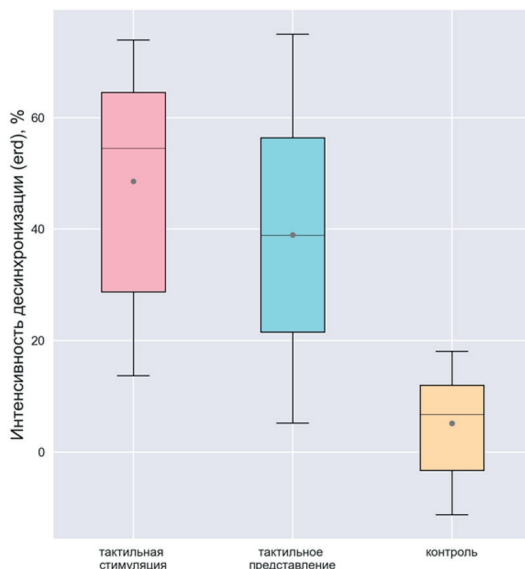


Рис. 8. Групповые значения ($n = 16$) интенсивности десинхронизации по показателю *erd* в канале СЗ*

Таким образом, выявлено, что тактильное представление приводит к устойчивой десинхронизации мю-ритма, по уровню сопоставимой с десинхронизацией при тактильной стимуляции. При этом выраженность десинхронизации в контралатеральном отведении СЗ растет от попытки к попытке, что свидетельствует в пользу выработки навыка мысленного тактильного представления в ходе экспериментальной сессии.

* Для каждого экспериментального состояния показаны медиана (горизонтальная линия внутри бокса), интерквартильный размах (боксы), минимальное и максимальное значение (усы); кружками отмечены средние значения.

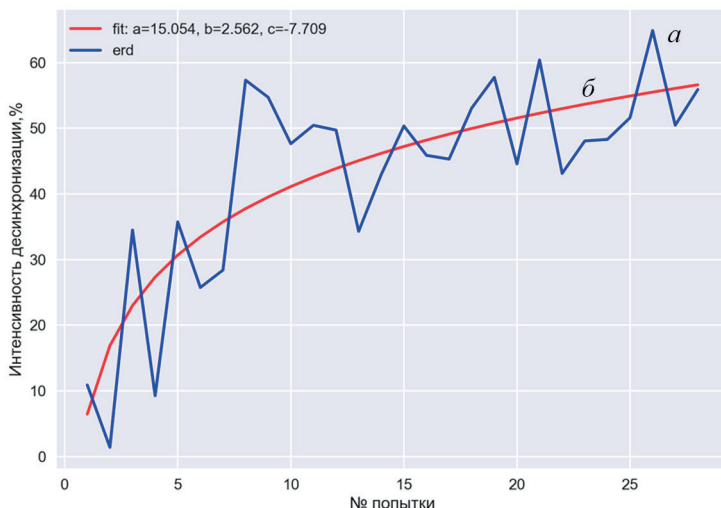


Рис. 9. Усредненная по группе ($n = 16$) кривая обучения навыку тактильного представления: a — выраженность десинхронизации erd в канале СЗ от попытки к попытке; b — нормализованная функция $f(x) = a + b \cdot \ln(x) + c$

Заключение. В настоящей работе впервые показаны изменения сенсомоторной ритмической ЭЭГ-активности, связанной с тактильным представлением в отсутствие внешней соматосенсорной стимуляции. Так, формирование тактильных образов, не связанных с движением, приводит к контралатеральной десинхронизации мю-ритма ЭЭГ. Величина этой десинхронизации достоверно растет по мере обучения формированию мысленного тактильного образа в ходе одной экспериментальной сессии. Поскольку обучение является одним из свидетельств развития пластичности в нервной ткани, полученные в данной работе результаты могут быть полезны для нейрореабилитации и разработки контуров ИМК, основанных на десинхронизации сенсомоторных ритмов ЭЭГ. Также полученные результаты вносят фундаментальный вклад в знания о роли соматосенсорной компоненты в процессах сенсомоторной интеграции.

Библиографические ссылки

1. *Munzert J., Lorey B., Zentgraf K.* Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations // *Brain Research Rev.* 2009. Vol. 60, № 2. P. 306–326.
2. *Mizuguchi N. et al.* Motor imagery and sport performance // *The J. of Physical Fitness and Sports Medicine.* 2012. Vol. 1, № 1. P. 103–111.
3. *Мокиенко О. А. и др.* Основанный на воображении движения интерфейс мозг-компьютер в реабилитации пациентов с гемипарезом // *Бюллетень сибирской медицины.* 2013. Т. 12, № 2. С. 30–35.
4. *Фролов А. А., Бобров П. Д.* Интерфейс мозг-компьютер: нейрофизиологические предпосылки и клиническое применение // *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова.* 2017. Т. 67, № 4. С. 365–376.
5. *Каплан А. Я. и др.* Экспериментально-теоретические основания и практические реализации технологии «Интерфейс мозг-компьютер» // *Бюллетень сибирской медицины.* 2013. Т. 12, № 2. С. 21–29.