

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

Биология. Химия. Том 3 (69). 2017. № 4. С. 3–12.

УДК 612.825; 616:613.6

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТОВ РЕАКТИВНОСТИ СЕНСОМОТОРНОГО РИТМА ЭЭГ В УСЛОВИЯХ СИНХРОННОЙ ИМИТАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО И НЕБИОЛОГИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЙ

Аликина М. А., Махин С. А., Павленко В. Б.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: alikina93@gmail.com*

В статье представлены результаты исследования особенностей реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ в альфа- и бета1-диапазонах у взрослых испытуемых (N=62) при имитации биологического (рука) и небιологического (цветовое пятно) движений с помощью компьютерной мыши в сравнении с аналогичными движениями, осуществляемыми самостоятельно. Обнаружены значимые различия в амплитуде бета1-ритма в центральных отведениях ЭЭГ при сравнении ситуаций имитации движений руки и выполнения самостоятельных движений. Значимое влияние оказывали факторы «Ситуация» ($F(1, 45) = 18,58, p < 0,001$) и «Локус» ($F(2, 90) = 49,34, p < 0,001$). Подобных эффектов реактивности сенсомоторного ритма в случае имитации движения небιологической природы обнаружено не было. Выдвигается гипотеза о том, что дополнительная супрессия амплитуды бета1-ритма в центральных отведениях при имитации движений руки может быть связана с «социальным» характером взаимодействия. Обсуждается возможная взаимосвязь между выявленными модуляциями амплитуды сенсомоторного ритма и функциональной активностью системы «зеркальных» нейронов.

Ключевые слова: подражание, биологическое движение, электроэнцефалограмма, сенсомоторный ритм, мю-ритм, альфа-ритм, бета-ритм, «зеркальные» нейроны.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается заметный рост количества исследований, направленных на изучение феномена реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ человека в процессе реализации задач на наблюдение за различного рода действиями других людей. Это в значительной степени обусловлено фактом открытия системы «зеркальных» нейронов (СЗН) у обезьян и человека, маркером активации которой предположительно может выступать реакция десинхронизации сенсомоторного ритма ЭЭГ в частотных диапазонах альфа- и бета1-ритмов [1–4].

«Зеркальными» нейронами принято называть нервные клетки коры головного мозга (первоначально обнаруженные в области F5 в премоторной коре у обезьян [5–7]), которые сходным образом активируются как при выполнении собственных действий, так и при наблюдении за аналогичными [8, 9] или же отличными, но

выполняемыми с той же целью действиями [10]. Получила распространение гипотеза о том, что именно эти свойства зеркальных нейронов могут обуславливать эффекты «мгновенного» понимания и предвосхищения действий других людей без прибегания к сложным сознательным умозаключениям [10].

Мю-ритм у взрослых людей представляет собой компонент сенсомоторного ритма ЭЭГ в частотном диапазоне альфа-активности (8–13 Гц), регистрируемый в центральных корковых областях и наиболее выраженный в состоянии физического расслабления. В последнее время при анализе ЭЭГ-активности, связанной с функционированием соматической коры, считается целесообразным анализировать также и нижний частотный диапазон бета-ритма в центральных отведениях ЭЭГ как обладающий в значительной мере сходными функциональными характеристиками [11–14]. Высказываются предположения о том, что альфа-компонент сенсомоторного ритма может отражать уровень активации постцентральной соматосенсорной коры, в то время как бета-компонент может выступать индикатором активности прецентральной моторной коры [11, 15].

Исследователями было выдвинуто предположение, что активность СЗН может отражаться в активности сенсомоторного ритма ЭЭГ, для которого характерна реакция депрессии не только при осуществлении движений, но и при их наблюдении и даже мысленном представлении [1, 16, 17]. Мощность мю-ритма, как правило, уменьшается в большей степени при восприятии действий, выполняемых другими людьми, по сравнению с движениями неодушевленных предметов [17–19]. Нужно отметить, однако, что имеются работы, в которых сообщается о сравнимой реакции десинхронизации при наблюдении и представлении биологического и небιологического движения [20, 21]. Максимальное падение мощности мю-ритма, согласно мнению отдельных исследователей, должно наблюдаться при синхронной имитации движений другого человека [22]. При этом в подавляющем большинстве исследований активности мю-ритма в связи с функционированием системы «зеркальных» нейронов рассматриваются лишь условия наблюдения чужих действий и их отложенной имитации при многократном повторении относительно кратковременных движений длительностью в одну-две секунды, часто с привлечением аутистов [22, 23].

Ранее нами уже было предпринято сравнение степени десинхронизации сенсомоторного ритма в частотных диапазонах альфа- и бета1-ритма [24] при имитации движений светового пятна и руки человека относительно ситуации самостоятельных движений, в результате чего была обнаружена значимо более сильная депрессия мю-ритма в центральном отведении С₄ только при имитации движений руки. Однако в логике этого исследования (n = 37) отсутствовала процедура предварительного отбора испытуемых, однозначно демонстрировавших реакцию десинхронизации ЭЭГ в локусе С3 (соответствующем сенсомоторной проекции движений правой руки, которой работали все испытуемые) при собственных движениях. Согласно нашим собственным данным, примерно у 20 % испытуемых активность ЭЭГ в центральных отведениях не демонстрирует классическую реакцию десинхронизации мю-ритма [25]. При этом результаты

статистического анализа не проходили дополнительную коррекцию при множественных сравнениях.

В связи с вышеизложенным мы посчитали целесообразным провести более строгий узконаправленный анализ проблематики сопоставления активности сенсомоторного ритма ЭЭГ в диапазонах альфа- и бета1-частот при сравнении ситуаций синхронной имитации «живого» и анимированного схематичного движения с использованием более объемной выборки при условии предварительного отбора испытуемых, демонстрирующих классическую реакцию депрессии мю-ритма в ходе выполнения самостоятельных движений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 62 здоровых взрослых испытуемых в возрасте от 18 до 30 лет (20 мужчин и 42 женщины). ЭЭГ регистрировалось при помощи 24-канального энцефалографа «Нейрон спектр – 3» (фирма «Нейрософт», Иваново) в диапазоне частот от 1 до 30 Гц. Для записи и анализа данных использовалась компьютерная программа «EEG Mapping 3» (программист Е. Н. Зинченко). ЭЭГ-потенциалы отводились монополярно от фронтальных (F_3, F_4, F_2), центральных (C_3, C_4, C_2), затылочных (O_1, O_2), теменных (P_3, P_4, P_2), височных (T_3, T_4) локусов в соответствии с международной системой наложения электродов 10-20. В качестве референтного электрода служили объединенные контакты, закрепленные на мочках ушей. Частота оцифровки ЭЭГ-сигналов составляла 250 Гц. Обработка сигналов производилась с помощью быстрых преобразований Фурье с последующим сглаживанием по методу Баттерворта.

Настоящее исследование является частью более широкой, комплексной исследовательской программы, направленной на изучение электрофизиологических и гуморальных коррелятов различных аспектов социальной перцепции и поведения. В данной работе анализируется блок экспериментальных данных, описывающих показатели реактивности сенсомоторных ритмов при сравнении ситуаций самостоятельной продукции и имитации движений, выполняемых с помощью компьютерной мыши. Имитируемые движения представлены в одном случае концентрическими перемещениями цветового пятна на экране монитора (имитация движений пятна, ИДП), во втором – потоковым видео реальных движений руки экспериментатора с помощью компьютерной мыши (имитация движений руки, ИДР). Ситуации ИДП и ИДР в каждом случае предварялись ситуацией самостоятельных движений с помощью мыши (СД), которым, в свою очередь, предшествовал полуминутный период спокойного бодрствования с фиксацией взгляда на рабочем пространстве дисплея (зрительная фиксация, ЗФ).

Из первоначальной выборки, состоящей из 62 человек, для дальнейшего анализа были отобраны 46 испытуемых, у которых была зарегистрирована супрессия мю-ритма в отведении C_3 (контралатеральном работающей руке) в ситуации СД относительно ЗФ. Это было необходимо сделать, чтобы убедиться, что дальнейшему анализу подвергаются показатели именно сенсомоторного ритма, основным свойством которого считается реакция десинхронизации при осуществлении собственных движений. Дополнительным условием отбора было

требование наличия как минимум 20 секунд записи ЭЭГ в каждой экспериментальной ситуации без артефактов.

В итоговой выборке насчитывались 31 испытуемый женского пола и 15 – мужского. Средний возраст испытуемых составил $21 \pm 2,8$ г. (здесь и далее в тексте при описании значений переменных указывается среднее значение \pm стандартное отклонение).

Для оценки статистической значимости изменений в амплитуде мю-ритма в альфа- и бета1-частотных диапазонах в основных экспериментальных ситуациях относительно заданных исходных состояний использовался дисперсионный анализ для повторных измерений (repeated measures ANOVA), который проводился отдельно для альфа- и бета1-частотных диапазонов в ситуациях ИДП и ИДР относительно СД, а также СД относительно ЗФ. В качестве группирующих факторов были указаны такие переменные, как «Локус» (C_3 , C_4 , C_2) и «Ситуация» (ЗФ и СД при анализе самостоятельных движений; СД и ИДП – имитации движений светового пятна; СД и ИДР – имитации движений руки).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируемая выборка испытуемых характеризовалась статистически значимой депрессией сенсомоторного ритма ЭЭГ в ситуациях СД относительно ЗФ в обоих анализируемых частотных диапазонах. В диапазоне альфа-ритма значимые различия были найдены для фактора «Ситуация» ($F(1, 45) = 26,46$, $p < 0,001$) и для взаимодействия между факторами «Ситуация» и «Локус» ($F(2, 90) = 7,26$, $p = 0,001$). Отдельно для фактора «Локус» различия не достигали уровня статистической значимости ($F(2, 90) = 2,96$, $p = 0,06$). В диапазоне бета-ритма значимые различия обнаружены как для «Ситуации» ($F(1, 45) = 41,19$, $p < 0,001$), так и для «Локуса» ($F(2, 90) = 30,95$, $p < 0,001$), но не для их взаимодействия ($F(2, 90) = 0,08$, $p = 0,93$).

Таким образом, мы убедились, что активность ЭЭГ в нижнем частотном диапазоне бета-ритма (14-20 Гц), наряду с традиционно рассматриваемой частотой мю-ритма (8-13 Гц), также может выступать индикатором активации соматической коры в связи с реализацией собственных движений.

Далее были проанализированы различия в амплитуде сенсомоторного ритма (отдельно для альфа- и бета1-диапазонов) между ситуациями самостоятельных движений и имитации в контексте подражания схематичному (световое пятно) и «живому», или биологическому, движению (рука). Графическое изображение степени (де)синхронизации сенсомоторного ритма в диапазоне альфа- и бета-частот при ИДП и ИДР относительно СД представлено на рис. 1.

Следует подчеркнуть, что используемая в нашем исследовании экспериментальная парадигма имитации движений существенно отличается от описанных в большинстве опубликованных работ сходной тематики. Как в случае подражания движениям светового пятна, так и при подражании движениям руки экспериментатора было необходимо непрерывно координировать свои действия в соответствии с изменяющейся скоростью модели для имитации. Тем самым достигалась определенная устойчивость внимания испытуемых на протяжении относительно длительного промежутка времени (30 секунд). Кроме того, можно

утверждать, что длительность экспериментальной задачи должна была приводить к достижению достаточно устойчивого функционального состояния ЦНС, характеризующего ее выполнение, из-за чего могли существенно сглаживаться эффекты кратковременной связанной с событием десинхронизации мю-ритма.

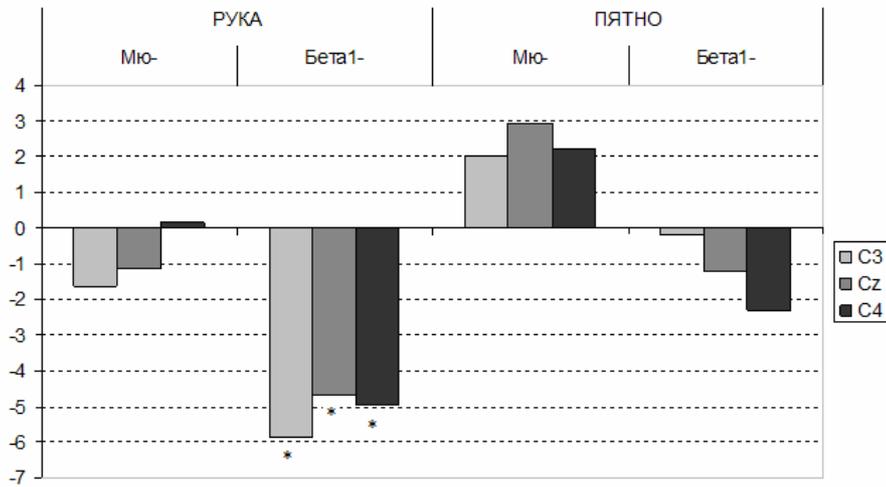


Рис. 1. Величины падения (%) амплитуды μ -ритма и бета1-ритма в центральных отведениях (C_3, C_z, C_4) при имитации движений светового пятна и руки экспериментатора относительно ситуации самостоятельных движений. Отрицательным значениям соответствует реакция депрессии ЭЭГ. Символом «*» обозначены случаи значимых различий при $p < 0,001$.

Исходя из описанной специфики настоящего экспериментального исследования, неудивительно, что в случае традиционно рассматриваемого мю-ритма в диапазоне альфа-частот нами не было зарегистрировано достоверных отличий для ситуаций собственных и имитируемых движений. Фактор «Ситуация» не продемонстрировал значимых различий между СД и ситуациями имитации ни для условия ИДП ($F(1, 45) = 1,95, p = 0,17$), ни для условия ИДР ($F(1, 45) = 0,41, p = 0,52$). Аналогично не выявлен значимый эффект взаимодействия факторов «Ситуация» и «Локус» (ИДП: $F(2, 90) = 0,38, p = 0,68$; ИДР: $F(2, 90) = 0,76, p < 0,47$). При этом отдельно для фактора «Локус» различия оказались значимыми (ИДП: $F(2, 90) = 8,01, p < 0,001$; ИДР: $F(2, 90) = 10,94, p < 0,001$).

Анализ условия ИДП в нижнем частотном диапазоне бета-ритма позволил заключить, что фактор «Ситуация» также не демонстрирует статистически значимых различий ни отдельно ($F(1, 45) = 1,65, p = 0,21$), ни в сочетании с фактором «Локус» ($F(2, 90) = 2,55, p = 0,08$). Фактору же «Локус» в отдельности снова соответствовали значимые различия ($F(2, 90) = 45,62, p < 0,001$).

Только ситуация ИДР продемонстрировала достоверные различия в амплитуде бета-ритма в центральных отведениях ЭЭГ относительно условия самостоятельных движений. В данном случае значимое влияние оказывали факторы «Ситуация»

($F(1, 45) = 18,58, p < 0,001$) и «Локус» ($F(2, 90) = 49,34, p < 0,001$), но не их сочетание ($F(2, 90) = 0,87, p = 0,42$). Для демонстрации общего соотношения степени десинхронизации бета-ритма в центральных отведениях при двигательной активности относительно состояния покоя представим следующий график (рис. 2).

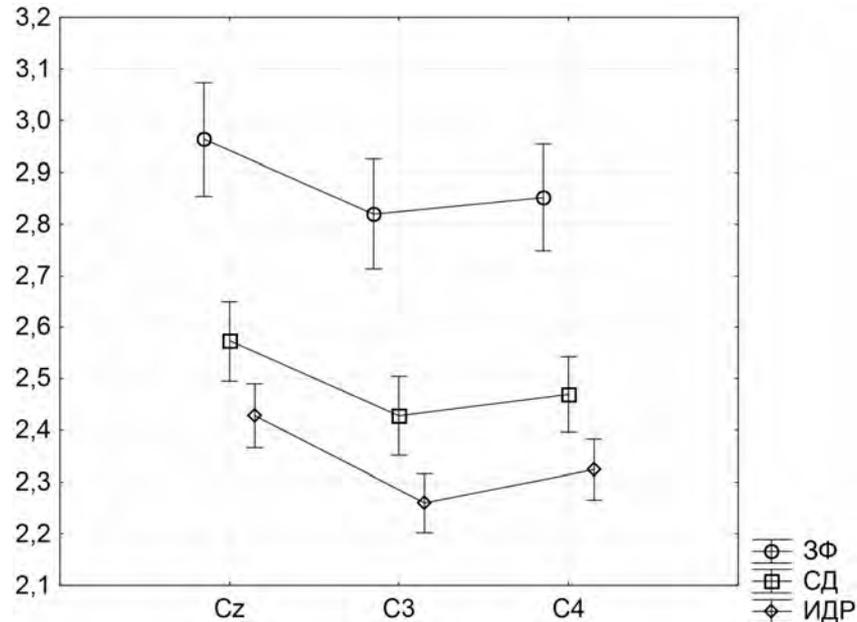


Рис. 2. Амплитуда сенсомоторного ритма в бета1-диапазоне частот (мкВ) в экспериментальных ситуациях зрительной фиксации (ЗФ) в состоянии покоя, самостоятельных движений компьютерной мышью (СД) и имитации движений руки с мышью (ИДР) в центральных отведениях ЭЭГ.

Таким образом, по результатам выявленных статистических закономерностей можно заключить, что лишь бета-компонент сенсомоторного ритма демонстрирует чувствительность к аспекту синхронной имитации наблюдаемого «живого» движения. Даже в такой элементарной форме социальной координации можно проследить дополнительную десинхронизацию низкочастотного бета-ритма в центральных отведениях ЭЭГ относительно супрессии развившейся вследствие реализации собственной двигательной активности. При этом тот факт, что данный эффект не наблюдается при синхронной имитации движений небиологической природы, может свидетельствовать о том, что его источником вряд ли является просто более высокий уровень концентрации внимания на выполняемой задаче. Так как с точки зрения сложности выполняемого задания обе ситуации выглядели идентично, то, по-видимому, именно «социальный» характер имитации служил причиной увеличенной депрессии бета-ритма. Другими словами, имело значение переживание так называемой интенциональности наблюдаемого движения, когда

движение воспринимается уже скорее как действие, за которым стоит специфическое намерение субъекта движения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Как альфа-, так и бета-компонент частотного диапазона сенсомоторного ритма ЭЭГ в центральных отведениях C_2 , C_3 и C_4 демонстрируют статистически значимую реакцию десинхронизации при реализации самостоятельных движений компьютерной мышью в течение 30 секунд.
2. Условие синхронной имитации круговых движений светового пятна на дисплее компьютера с помощью компьютерной мыши не выявило значимых отличий в активности обоих частотных диапазонов сенсомоторного ритма ЭЭГ по сравнению с условием самостоятельно реализуемых аналогичных движений.
3. Условие синхронной имитации движений руки другого человека, демонстрируемых в режиме реального времени на дисплее компьютера, вызывает дополнительную десинхронизацию активности бета-ритма (14–20 Гц) ЭЭГ в центральных отведениях C_2 , C_3 и C_4 относительно аналогично выполняемых самостоятельных движений. При этом сила десинхронизации неспецифична для различных отведений. Для традиционного частотного диапазона мю-ритма (8–13 Гц) различий выявлено не было.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках инициативной части государственного задания № 6.5452.2017/8.9 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Временная организация физиологических систем человека и животных: феноменология и механизмы генерации и регуляции микро- и мезоритмов».

Работа выполнена на оборудовании ЦКП ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Pineda J. A. The functional significance of mu rhythms: Translating “seeing” and “hearing” into “doing” / J. A. Pineda // Brain Research Reviews. – 2005. – Vol. 50. – P. 57–68.
2. Braadbaart L. Do mirror neuron areas mediate mu rhythm suppression during imitation and action observation? / L. Braadbaart, J. H. Williams, G. D. Waite // International Journal of Psychophysiology. – 2013. – Vol. 89, No 1. – P. 99.
3. Vanderwert R. E. The mirror mechanism and mu rhythm in social development / R. E. Vanderwert, N. A. Fox, P. F. Ferrari // NeurosciLett. – 2013. – Vol. 540. – P. 15.
4. Fox N. A. Assessing Human Mirror Activity With EEG Mu Rhythm: A Meta-Analysis. / N. A. Fox, M. J. Bakermans-Kranenburg, K. H. Yoo, L. C. Bowman, E. N. Cannon, R. E. Vanderwert, P. F. Ferrari, M. H. van IJzendoorn. // Psychol Bull. – 2016. – Vol. 142, No 3. – P. 291–313.
5. di Pellegrino G. Understanding motor events: A neurophysiological study / G. di Pellegrino, L. Fadiga, L. Fogassi, V. Gallese, G. Rizzolatti // Exp Brain Res. – 1992. – Vol. 91. – P. 176–180.
6. Gallese V. Action recognition in the premotor cortex / V. Gallese, L. Fadiga, L. Fogassi, G. Rizzolatti // Brain. – 1996. – Vol. 119. – P. 593–609.
7. Rizzolatti G. Premotor cortex and the recognition of motor actions / G. Rizzolatti, L. Fadiga, V. Gallese, L. Fogassi // Cogn Brain Res. – 1996. – Vol. 3. – P. 131–141.
8. Fadiga L. Human motor cortex excitability during the perception of others’ action / L. Fadiga, L. Craighero, E. Olivier // Curr Opin Neurobiol. – 2005. – Vol. 15, No 2. – P. 213–218.

9. Maeda F. Motor facilitation while observing hand actions: specificity of the effect and role of observer's orientation / F. Maeda, G. Kleiner-Fisman, A. Pascual-Leone // *J Neurophysiol.* – 2002. – Vol. 87. – P. 1329–1335.
10. Rizzolatti G. Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action / G. Rizzolatti, L. Fogassi, V. Gallese // *Nat Rev Neurosci.* – 2001. – Vol. 2. – P. 661–670.
11. Hari R. Human cortical oscillations: a neuromagnetic view through the skull / R. Hari, R. Salmelin // *Trends Neurosci.* – 1997. – Vol. 20. – P. 44–49.
12. Hari R. Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study / R. Hari, N. Forss, S. Avikainen, E. Kirveskari, S. Salenius, G. Rizzolatti // *Proc Natl AcadSci USA.* – 1998. – Vol. 95. – P. 15061–15065.
13. Pineda J. A. The effects of self-movement, observation, and imagination on mu rhythms and readiness potentials (RP's): toward a brain-computer interface (BCI) / J. A. Pineda, B. Z. Allison, A. Vankov // *IEEE Trans RehabilEng.* – 2000. – Vol. 8. – P. 219–222.
14. Neuper C. ERD/ERS patterns reflecting sensorimotor activation and deactivation / C. Neuper, M. Wörtz, G. Pfurtscheller // *Prog Brain Res.* – 2006. – Vol. 159. – P. 211–222.
15. Pfurtscheller G. Foot and hand area mu rhythms / G. Pfurtscheller, C. Neuper, C. Andrew, G. Edlinger // *IntJPsychophysiol.* – 1997. – Vol. 26. – P. 121–135.
16. Pineda J. A. Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: does it solve the development correspondence and control problems in mirroring? / J. A. Pineda // *Behav. Brain Funct.* – 2008. – Vol. 4. – P. 47.
17. Cochin S. Observation and execution of movement: similarities demonstrated by quantified electroencephalography / S. Cochin, C. Barthelemy, S. Roux, J. Martineau // *Eur J. Neurosci.* – 1999. – Vol. 11. – P. 1839–1842.
18. Cochin S. Perception of motion and qEEG activity in human adults / S. Cochin, C. Barthelemy, B. Lejeune, S. Roux, J. Martineau // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* – 1998. – Vol. 107 – P. 287–295.
19. Altschuler E. L. Person see, person do: human cortical electrophysiological correlates of monkey see monkey do cells / E. L. Altschuler, A. Vankov, V. Wang, V. S. Ramachandran, J. A. Pineda // *Abstr.-Soc. Neurosci.* – 1997. – Vol. 23, No 2. – P. 1848.
20. Александров А. А. Изменения мю-ритма при различных формах двигательной активности и наблюдении движений / Александров А. А., Тугин С. Н. // *Российский физиологический журнал им. М. И. Сеченова* – 2010. – Т. 96, № 11. – С. 46–54.
21. Francuz P. The suppression of the Mu rhythm during the creation of imagery representation of movement / P. Francuz., D. Zapala // *Neuroscience Letters* – Vol. 495, No 1. – P. 39–43.
22. Bernier R. EEG mu rhythm and imitation impairments in individuals with autism spectrum disorder / R. Bernier, G. Dawson, S. Webb, M. Murias // *Brain and Cognition.* – 2007. – Vol. 64, No. 3. – P. 228–237.
23. Bernier R. The role of imitation in the observed heterogeneity in EEG mu rhythm in autism and typical development / R. Bernier, B. Aaronson, J. McPartland // *Brain Cogn.* – 2013. – Vol. 82, No. 1. – P. 69–75.
24. Махин С. А. Взаимосвязь между индивидуальным уровнем эмоционального интеллекта и реактивностью сенсомоторного ритма при синхронной имитации движений другого человека / С. А. Махин, А. А. Макаричева, Н. В. Луцюк, С. В. Черный, Л. С. Орехова // *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия».* – 2013. – Т. 26 (65). – С. 121–131.
25. Махин С. А. Исследование реактивности мю-ритма при наблюдении, слуховом восприятии и имитации движений: взаимосвязь со свойствами личности, определяющими эмпатию / С. А. Махин, А. А. Макаричева, Н. В. Луцюк, В. Б. Павленко // *Физиология человека.* – 2015. – Т. 41, № 6. – С. 28–35.

COMPARISON OF THE EEG SENSORIMOTOR RHYTHM REACTIVITY EFFECTS UNDER CONDITIONS OF SYNCHRONOUS IMITATION OF BIOLOGICAL AND NON-BIOLOGICAL MOVEMENT*Alikina M. A., Makhin S. A., Pavlenko V. B.**V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: alikina93@gmail.com*

A sample of healthy individuals (N=62) underwent two series of recording the EEG under consecutive conditions of relaxed wakefulness, self-produced circular hand movements with a computer mouse, and a real-time imitation of observed (on the monitor) movements of either biological (hand) or non-biological (colored spot) nature. The differences in the EEG sensorimotor rhythms (alpha, 8–13 Hz; and beta1, 14–20 Hz) amplitude were analyzed separately for each series under the electrodes C₂, C₃ and C₄. 16 subjects were excluded from further analysis due to the lack of alpha suppression under C₃ electrode during self-produced hand movements which is expected to be seen as an inherent property of alpha sensorimotor rhythm in the contralateral to the moving hand brain hemisphere. For the rest subjects, both alpha and beta1 sensorimotor rhythms demonstrated a significant suppression effect during the self-paced hand movements. The condition of synchronous imitation of the colored spot movements didn't reveal significant differences in the amplitude of both sensorimotor rhythms in comparison with the preceding condition of self-controlled hand movements. The condition of the real-time imitation of another man's hand movements appeared to induce additional suppression of the beta1 sensorimotor rhythm under the three central electrodes when compared to the condition of similarly performed self-paced movements. This additional beta suppression was observed under each central electrode and didn't significantly differ among them. The classical alpha band sensorimotor rhythm didn't produce any significant changes. The authors hypothesize that this additional beta suppression might be relevant to the social nature of this imitation task and has little to do with task-specific attention difference effects since otherwise there would be certain alpha modulations which were not the case. There is briefly discussed a possible relevance of the acquired results to the functional role of the mirror neuron system during social interaction.

Keywords: imitation, biological movement, electroencephalogram, sensorimotor rhythm, mu-rhythm, alpha-rhythm, beta-rhythm, mirror neurons.

References

1. Pineda J. A., The functional significance of mu rhythms: Translating "seeing" and "hearing" into "doing", *Brain Research Reviews*, **50**, 57 (2005).
2. Braadbaart L., Williams J. H., Waite G. D., Do mirror neuron areas mediate mu rhythm suppression during imitation and action observation? *International Journal of Psychophysiology*, **89**(1), 99 (2013).
3. Vanderwert R. E., Fox N. A., Ferrari P. F. The mirror mechanism and mu rhythm in social development, *NeurosciLett.*, **540**, 15 (2013).
4. Fox N. A., Bakermans-Kranenburg M. J., Yoo K. H., Bowman L. C., Cannon E. N., Vanderwert R. E., Ferrari P. F., M. H. van IJzendoorn, Assessing Human Mirror Activity With EEG Mu Rhythm: A Meta-Analysis, *Psychological Bulletin.*, **142**(3), 291 (2016).

5. di Pellegrino G., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V. and Rizzolatti G., Understanding motor events: A neurophysiological study, *Exp Brain Res.*, **91**, 176 (1992).
6. Gallese V., Fadiga L., Fogassi L. and Rizzolatti G., Action recognition in the premotor cortex, *Brain*, **119**, 593 (1996).
7. Rizzolatti G., Fadiga L., Gallese V., Fogassi L. Premotor cortex and the recognition of motor actions, *Cogn Brain Res.*, **3**, 131 (1996).
8. Fadiga L., Craighero L. and Olivier E., Human motor cortex excitability during the perception of others' action, *Curr Opin Neurobiol.*, **15(2)**, 213 (2005).
9. Maeda F., Kleiner-Fisman G. and Pascual-Leone A., Motor facilitation while observing hand actions: specificity of the effect and role of observer's orientation, *J Neurophysiol.*, **87**, 1329 (2002).
10. Rizzolatti G., Fogassi L. and Gallese V., Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action, *Nat Rev Neurosci.*, **2**, 661 (2001).
11. Hari R., Salmelin R., Human cortical oscillations: a neuromagnetic view through the skull, *Trends Neurosci.*, **20**, 44 (1997).
12. Hari R., Forss N., Avikainen S., Kirveskari E., Salenius S. and Rizzolatti G., Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study. *Proc Natl Acad Sci USA*, **95**, 15061 (1998).
13. Pineda J. A., Allison B. Z. and Vankov A., The effects of self-movement, observation, and imagination on mu rhythms and readiness potentials (RP's): toward a brain-computer interface (BCI), *IEEE Trans Rehabil Eng.*, **8**, 219 (2000).
14. Neuper C., Wortz M. and Pfurtscheller G., ERD/ERS patterns reflecting sensorimotor activation and deactivation. *Prog Brain Res.*, **159**, 211 (2006).
15. Pfurtscheller G., Neuper C., Andrew C., Edlinger G., Foot and hand area mu rhythms, *Int J Psychophysiol.*, **26**, 121 (1997).
16. Pineda J. A., Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: does it solve the development correspondence and control problems in mirroring?, *Behav Brain Funct*, **4(1)**, 47 (2008).
17. Cochin S., Barthelemy C., Roux S. and Martineau J., Observation and execution of movement: similarities demonstrated by quantified electroencephalography, *Eur J Neurosci.*, **11**, 1839 (1999).
18. Cochin S., Barthelemy C., Lejeune B., Roux S. and Martineau J., Perception of motion and qEEG activity in human adults, *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, **107**, 287 (1998).
19. Altschuler E. L., Vankov A., Wang V., Ramachandran V. S. and Pineda J. A., Person see, person do: human cortical electrophysiological correlates of monkey see monkey do cells, *Abstr.-Soc. Neurosci.*, **23(2)**, 1848 (1997).
20. Aleksandrov A. A., Tugin S. M., Changes of the mu rhythm in different forms of motor activity and movement observation, *I. M. Sechenov Physiological Journal*, **96(11)**, 46 (2010).
21. Francuz P., Zapala D., The suppression of the Mu rhythm during the creation of imagery representation of movement, *Neuroscience Letters* **495(1)**, 39.
22. Bernier R., Dawson G., Webb S., & Murias M., EEG mu rhythm and imitation impairments in individuals with autism spectrum disorder, *Brain and Cognition*, **64(3)**, 228 (2007).
23. Bernier R., Aaronson B., McPartland J., The role of imitation in the observed heterogeneity in EEG mu rhythm in autism and typical development, *Brain Cogn.*, **82(1)**, 69 (2013).
24. Makhin S. A., Makaricheva A. A., Lutsyuk N. V., Cherny S. V. and Orekhova L. S., Interrelation between individual level of emotional intelligence and EEG sensomotor rhythm reactivity at the time of synchronized imitation of another person's movement, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University*, **26(65)**, 121 (2013).
25. Makhin S. A., Makaricheva A. A., Lutsuk N. V., Pavlenko V. B., Study of the reactivity of the μ rhythm during observation, auditory perception, and movement imitation: Correlation with empathic ability, *Human Physiology.*, **41(6)**, 593 (2015).