

**УДК 612.825; 616:613.6**

## **РЕАКТИВНОСТЬ СЕНСОМОТОРНОГО РИТМА ЭЭГ У ДЕТЕЙ 6-9 ЛЕТ В УСЛОВИЯХ ИМИТАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО И НЕБИОЛОГИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ**

*Кайда А. И., Эйсмонт Е. В., Муминова Л. Л., Махин С. А.*

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

В статье представлены результаты исследования особенностей реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ у детей 6-9 лет (N=60) в условиях имитации биологического (рука) и небιологического (цветовое пятно) движений с помощью компьютерной мыши. Статистически значимое увеличение амплитуды сенсомоторного ритма при подражании движениям небιологического объекта наблюдалось в отведении С3 ( $t = -2,09$ ;  $p = 0,04$ ). Статистически значимых изменений в величине амплитуды сенсомоторного ритма при имитации детьми биологических движений обнаружено не было. Сравнительный анализ индекса синхронизации/десинхронизации сенсомоторного ритма продемонстрировал статистически значимые различия для отведения Pz. При подражании движениям светового пятна наблюдалась синхронизация сенсомоторного ритма (-0,4 %), в то время как при имитации движений другого человека имела место значимая десинхронизация (3,4 %).

**Ключевые слова:** ЭЭГ, сенсомоторный ритм, мю-ритм, альфа-ритм, зеркальная система мозга, имитация, дети.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Долгое время исследователи находились в поиске правдоподобных нейрофизиологических механизмов, лежащих в основе сложных форм социального взаимодействия. Открытие системы зеркальных нейронов приблизило нас к решению данной проблемы. Зеркальные нейроны – это нервные клетки, которые разряжаются как при выполнении действия, так и при наблюдении за этим действием [1]. Участвуя в распознавании действий, зеркальная система мозга (ЗСМ) обеспечивает понимание стоящих за ними целей и намерений других людей [2, 3].

Было высказано предположение, что ЗСМ лежит в основе способности людей к подражанию. В исследовании Wohlschlaeger et al. было показано, что подражание биологическому движению сопровождается активацией ЗСМ человека и является результатом сопоставления наблюдаемого действия и внутреннего моторного плана осуществления этого действия [4].

В последние годы наблюдается увеличение числа исследований, направленных на изучение особенностей реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ человека как индикатора активности ЗСМ [5, 6]. Сенсомоторный ритм (8–13 Гц) регистрируется в состоянии двигательного покоя над локусами С3, Сz и С4 [7, 8]. В норме амплитуда

мю-ритма снижается как при выполнении действия, так и при наблюдении за этим действием [9]. При этом его реактивность выражена в большей степени при выполнении целенаправленных действий [10]. Более того, анализ ЭЭГ продемонстрировал десинхронизацию мю-ритма во время наблюдения испытуемыми движений модели руки на экране монитора [11]. Также было показано, что у индивидов, страдающих расстройствами аутистического спектра, не было зарегистрировано падения сенсомоторного ритма при наблюдении за действием [12].

В одном из исследований было показано, что наблюдается значимая дополнительная к вызванной собственными движениями десинхронизация сенсомоторных ритмов при имитации биологических, в то время как для условия подражания небιологическим движениям она отсутствовала [13].

Однако исследования реактивности сенсомоторного ритма при подражании движениям биологических и небιологических объектов проводились с участием взрослых испытуемых. Вопрос об изменении мю-активности ЭЭГ детей в подобных ситуациях остается неизученным. В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является анализ реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ у детей 6–9 лет в условиях имитации биологического и небιологического движения.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В исследовании приняли участие 60 детей в возрасте 6–9 лет (38 мальчиков и 22 девочки) с уровнем когнитивного развития, соответствующим возрастной норме. Регистрация, обработка и анализ ЭЭГ осуществлялись по общепринятой методике с помощью автоматизированного комплекса, состоящего из электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр – 3» (фирма «Нейрософт», г. Иваново) и двух персональных компьютеров. Для обработки данных использовалась компьютерная программа «EEG Mapping 3» (программист Е.Н. Зинченко). ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно от фронтальных (F3, F4, Fz), центральных (C3, C4, Cz), теменных (P3, P4, Pz), височных (T3, T4) и затылочных (O1, O2) локусов по системе 10–20, однако в дальнейшем анализе использовались лишь фронтальные, центральные и теменные. Референтным электродом служили объединенные контакты, закрепленные на мочках ушей. Частоты среза фильтров высоких и низких частот составляли, соответственно, 1.5 и 35 Гц, частота оцифровки ЭЭГ-сигналов – 250 Гц.

Запись ЭЭГ производилась во время выполнения испытуемыми серии заданий длительностью по 20 и 30 секунд. Для каждого этапа рассчитывалось среднее значение амплитуды ЭЭГ в диапазоне сенсомоторного ритма (мю-ритма) (8–13 Гц). В качестве эпох анализа использовались временные интервалы по 3 секунды с перекрытием 50 %.

Для имитации детьми небιологического движения использовалась следующая экспериментальная ситуация:

- 1) осуществление концентрических перемещений цветового пятна на экране монитора при помощи компьютерной мыши;
- 2) имитация движений другого цветового пятна.

Для имитации детьми биологического движения использовалась следующая экспериментальная ситуация:

1) осуществление самостоятельных движений компьютерной мышью по кругу;  
 2) имитация движений компьютерной мышью, выполняемых экспериментатором. В данной ситуации испытуемый и экспериментатор располагались за стоящими рядом столами (экспериментатор справа), на каждом из которых находился монитор и компьютерная мышь. На мониторе перед испытуемым с помощью веб-камеры демонстрировалась рабочая плоскость стола экспериментатора с расположенной на ней мышью.

Рассчитывались индексы синхронизации/десинхронизации сенсомоторного ритма для ситуаций имитации движений по отношению к исходному состоянию (собственные движения). Положительные значения индекса десинхронизации свидетельствовали о снижении амплитуды сенсомоторного ритма относительно исходного состояния, а отрицательные – об увеличении амплитуды мю-ритма. Также было проведено сравнение показателей реактивности сенсомоторного ритма при имитации движений небиологического и биологического объектов.

Данные электрофизиологического исследования количественно обрабатывались посредством стандартных методов вариационной статистики с использованием t-критерия Стьюдента, g-критерия знаков и коэффициента корреляции Спирмена.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Использование t-критерия Стьюдента для анализа различий в амплитуде сенсомоторного ритма ЭЭГ в задачах на самостоятельное осуществление детьми движений и последующую имитацию движений небиологического объекта позволило выявить снижение амплитуды сенсомоторного ритма в одних отведениях и ее рост в других отведениях. Числовые значения амплитуды сенсомоторного ритма в данных экспериментальных ситуациях приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

**Значения амплитуды сенсомоторного ритма (мкВ) при самостоятельном осуществлении движений детьми 6–9 лет и подражании движениям небиологического объекта**

Отведение	Самостоятельное осуществление движений	Подражание движениям небиологического объекта
Fz	7,5±1,9	7,6±2,0
F3	7,3 ± 1,8	7,5 ± 2,0
F4	7,6 ± 2,2	7,5 ± 1,9
Cz	8,5 ± 2,6	8,6 ± 3,0
<b>C3</b>	<b>7,3 ± 1,8</b>	<b>7,6 ± 2,0 *</b>
C4	9,5 ± 4,3	9,8 ± 4,6
Pz	8,5 ± 2,8	8,4 ± 3,0
P3	7,4 ± 1,7	7,5 ± 2,0
P4	8,3 ± 3,0	8,5 ± 3,4

*Примечание.* Приведены средние значения ± стандартное отклонение. Звездочкой отмечен случай статистически значимых изменений при  $p \leq 0,05$

Из данных таблицы видно, что при имитации детьми движений небиологического объекта наблюдался незначительный рост амплитуды сенсомоторного ритма в отведениях Fz ( $t = -0,60$ ;  $p = 0,55$ ), F3 ( $t = -1,02$ ;  $p = 0,31$ ), Cz ( $t = -0,59$ ;  $p = 0,55$ ), C4 ( $t = -1,18$ ;  $p = 0,24$ ), P3 ( $t = -0,67$ ;  $p = 0,50$ ), P4 ( $t = -0,75$ ;  $p = 0,46$ ) относительно ситуации самостоятельных движений. При этом различия не достигали уровня статистической значимости. Статистически значимое увеличение амплитуды сенсомоторного ритма при подражании движениям небиологического объекта относительно ситуации самостоятельных движений наблюдалось в отведении C3 ( $t = -2,09$ ;  $p = 0,04$ ). Интерпретация феномена роста амплитуды мю-ритма при подражании детьми движений небиологического объекта в настоящий момент вызывает затруднения. Можно высказать предположение, что это связано с тем, что задача подражания небиологическому объекту для детей требовала меньшей когнитивной нагрузки по сравнению с ситуацией самостоятельного выполнения движения.

Падение амплитуды сенсомоторного ритма при имитации детьми движений небиологического объекта по сравнению с ситуацией самостоятельного движения наблюдалось в локусах F4 ( $t = 0,09$ ;  $p = 0,93$ ) и Pz ( $t = 0,12$ ;  $p = 0,90$ ), но при этом уровня статистической значимости данные изменения не достигали.

Далее будут рассмотрены изменения значений амплитуды сенсомоторного ритма ЭЭГ при имитации детьми движений биологического объекта относительно ситуации самостоятельно выполняемых движений.

В таблице 2 представлены значения амплитуд сенсомоторного ритма ЭЭГ в ситуации самостоятельных движений и последующей ситуации подражания биологическим движениям.

**Таблица 2.**  
**Значения амплитуды сенсомоторного ритма (мкВ) ЭЭГ при выполнении детьми 6-9 лет самостоятельных движений и имитации движений биологического объекта**

Отведение	Самостоятельное осуществление движений	Подражание биологическим движениям
Fz	7,6 ± 2,1	7,8 ± 3,0
F3	7,5 ± 2,0	7,6 ± 2,8
F4	7,79 ± 2,2	7,77 ± 2,9
Cz	8,7 ± 2,6	8,6 ± 3,3
C3	7,6 ± 1,8	7,7 ± 2,9
C4	9,9 ± 3,9	10,1 ± 4,7
Pz	8,9 ± 2,7	8,7 ± 3,3
P3	7,69 ± 1,9	7,7 ± 2,9
P4	8,72 ± 3,0	8,67 ± 3,7

Из представленных данных видно, что рост амплитуды мю-ритма при подражании детьми биологическим движениям относительно ситуации

самостоятельных движений наблюдался в отведениях Fz ( $t = -0,88$ ;  $p = 0,38$ ), F3 ( $t = -0,71$ ;  $p = 0,48$ ), C3 ( $t = -0,56$ ;  $p = 0,58$ ), C4 ( $t = -0,72$ ;  $p = 0,47$ ), P3 ( $t = -0,14$ ;  $p = 0,89$ ). Однако данные изменения не достигали уровня статистической значимости. Падение амплитуды сенсомоторного ритма наблюдалось в локусах F4 ( $t = 0,12$ ;  $p = 0,90$ ), Cz ( $t = 0,45$ ;  $p = 0,66$ ), Pz ( $t = 1,14$ ;  $p = 0,26$ ), P4 ( $t = 0,27$ ;  $p = 0,79$ ), но данные изменения также не достигали уровня статистической значимости.

С целью анализа значимости различий в величине относительной синхронизации/десинхронизации сенсомоторного ритма при сравнении условий имитации биологического и небιологического движения использовался  $g$ -критерий знаков. Статистически значимые различия были выявлены исключительно для отведения Pz ( $Z = 2,19$ ;  $p = 0,03$ ). В ситуации подражания движениям светового пятна наблюдалась несущественная синхронизация сенсомоторного ритма ( $-0,4\%$ ), в то время как при имитации движений другого человека имела место значимая десинхронизация ( $3,4\%$ ).

Данный результат косвенно подтверждает выводы, сделанные Desy et al. (2013), который продемонстрировал, что имитация биологических движений приводит к более выраженному падению сенсомоторного ритма ЭЭГ, чем подражание небιологическим движениям. Предположительно, это связано с активностью зеркальной системы мозга, ответственной за понимание чувств и намерений других людей, а также имитацию и социальное взаимодействие [14].

В целом, в результате расчетов относительных величин синхронизации/десинхронизации и значимости различий между ними были получены показатели, представленные в Таблице 3.

Обобщая данные, представленные в таблице, можно заключить, что в ситуации подражания движениям светового пятна наблюдаются процессы синхронизации сенсомоторного ритма во всех отведениях ЭЭГ, в то время как условие подражания движениям руки другого человека сопровождается разнонаправленными процессами:  $\mu$ -ритм синхронизируется в отведениях Fz, F3, Cz, C4 и P3 и десинхронизируется в отведениях F4, Cz, Pz и P4. Следует указать, что выраженность всех рассчитанных показателей относительно невелика, в связи с чем их интерпретация требует определенной доли осторожности и дополнительной проверки в последующих исследованиях.

Корреляционный анализ взаимосвязи между коэффициентом синхронности при имитации движений светового пятна и величиной десинхронизации сенсомоторного ритма при имитации небιологического и биологического движений позволил обнаружить значимые связи исключительно для ситуации подражания биологическому движению. Так, большим значениям коэффициента синхронности при имитации детьми движений светового пятна соответствовали большие значения индекса десинхронизации сенсомоторного ритма при подражании биологическим движениям в локусах Cz ( $r = 0,29$ ,  $p = 0,03$ ), C3 ( $r = 0,27$ ;  $p = 0,03$ ) P3 ( $r = 0,27$ ;  $p = 0,03$ ) и Pz ( $r = 0,44$ ;  $p = 0,000$ ). Других значимых корреляций обнаружено не было (Fz ( $r = 0,20$ ;  $p = 0,12$ ), F3 ( $r = 0,25$ ;  $p = 0,05$ ), F4 ( $r = 0,17$ ;  $p = 0,20$ ), P4 ( $r = 0,16$ ;  $p = 0,23$ ), C4 ( $r = 0,01$ ;  $p = 0,92$ )).

Таблица 3.

Индексы синхронизации/десинхронизации сенсомоторного ритма ЭЭГ при подражании биологическому и небιологическому движениям относительно условия выполнения самостоятельных движений

Отведение ЭЭГ	Подражание небιологическим движениям, %	Подражание биологическим движениям, %	Значимость различий (g-критерий знаков)
Fz	-1,92	-1,55	Z = -0,129 p = 0,897
F3	-2,13	-1,63	Z = 0,387 p = 0,699
F4	-1,77	0,46	Z = 0,904 p = 0,366
Cz	-1,22	1,41	Z = -0,129 p = 0,897
C3	-4,68	-1,04	Z = 0,645 p = 0,519
C4	-4,05	-0,92	Z = 0,129 p = 0,897
<b>Pz</b>	<b>-0,38</b>	<b>3,40</b>	<b>Z = 2,125*</b> <b>p = 0,028</b>
P3	-1,84	-0,16	Z = -0,129 p = 0,897
P4	-1,86	1,50	Z = 0,646 p = 0,519

*Примечание:* положительные значения индексов свидетельствуют о десинхронизации сенсомоторного ритма, отрицательные – о синхронизации. Звездочкой обозначен случай статистически значимых различий.

Настоящие результаты согласуются с данными, полученными в 2006 году группой Kessler et al. В их исследовании с помощью МЭГ было установлено, что при подражании биологическим движениям наблюдалась активация премоторной, височной и теменной коры. В частности, активация задней теменной коры, по их предположению, обеспечивает интеграцию входящих стимулов от всех органов чувств при имитации движений [15].

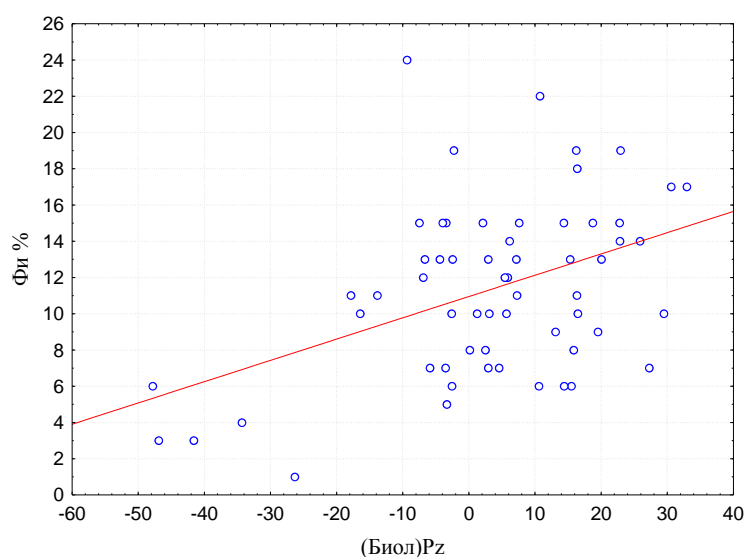


Рис. 1. Значения коэффициентов корреляций величины индекса синхронизации/десинхронизации сенсомоторного ритма при подражании биологическому движению и коэффициента синхронности имитации движений светового пятна. По горизонтали – значения амплитуды сенсомоторного ритма (мкВ), по вертикали – коэффициент синхронности (%).

Для ситуации подражания небιологическому движению значимых корреляций между индексом десинхронизации сенсомоторного ритма и коэффициентом синхронности обнаружено не было (Fz ( $r = -0,007$ ;  $p = 0,96$ ), F4 ( $r = -0,07$ ;  $p = 0,58$ ), Cz ( $r = -0,06$ ;  $p = 0,65$ ), C4 ( $r = -0,05$ ;  $p = 0,70$ ) Pz ( $r = -0,007$ ;  $p = 0,96$ ) и P3 ( $r = -0,10$ ;  $p = 0,46$ )).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведенного исследования были выявлены особенности реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ у детей 6–9 лет в условиях имитации биологического и небιологического движения.
2. При имитации детьми небιологических движений наблюдалось статистически значимое увеличение амплитуды сенсомоторного ритма в левом центральном отведении относительно ситуации самостоятельно выполняемых движений. Статистически значимых изменений в величине амплитуды сенсомоторного ритма при имитации детьми биологических движений обнаружено не было.
3. Сравнительный анализ индекса синхронизации/десинхронизации сенсомоторного ритма при имитации небιологического и биологического движения показал статистически значимые различия для отведения Pz: в ситуации подражания движениям цветовой пятна наблюдалась несущественная синхронизация сенсомоторного ритма (-0,4 %), в то время как при имитации движений другого человека имела место значимая десинхронизация (3,4 %).

4. Выявлены положительные статистически значимые корреляции между коэффициентом синхронности при имитации детьми небиологического движения и значениями индекса десинхронизации сенсомоторного ритма при подражании биологическим движениям в отведениях СЗ, Cz, РЗ и Рz.

*Работа выполнена на оборудовании ЦКП научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» Таврической академии ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского».*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта РФФИ № 18-015-00074.*

#### Список литературы

1. Premotor cortex and the recognition of motor actions / G. Rizzolatti [et al.] // Cognitive Brain Research. – 1996. – V.3, №2. – P. 131–141
2. Ferrari P. F. New frontiers in mirror neurons research / P. F. Ferrari, G. Rizzolatti // NY: Oxford University Press. – 2015.
3. Action observation areas represent intentions from subtle kinematic features / A. Koul [et al.]. – May 2018.
4. Wohlschlagel A. Action generation and action perception in imitation: an instance of the ideomotor principle / A. Wohlschlagel, M. Gattis, H. Bekkering // Philos. Trans. R Soc. Lond., B Biol. Sci. – 2003. – P. 501–515.
5. Hannah M. Mu suppression – A good measure of the human mirror neuron system? / M. Hannah, H. M. Hobson, V. M. Bishop // Cortex. – 2016. – V. 82. – P. 290–310.
6. Simultaneous scalp recorded EEG and local field potentials from monkey ventral premotor cortex during action observation and execution reveals the contribution of mirror and motor neurons to the mu-rhythm / M. Bimbi [et al.] // Neuroimage. – 2018. – P. 175. – P. 22–31.
7. Pineda J. A. The functional significance of mu rhythms: Translating «seeing» and «hearing» into «doing» / J. A. Pineda // Brain Research Reviews. – 2005. – V. 50. – P. 57–68.
8. Alpha, beta and gamma electrocorticographic rhythms in somatosensory, motor, premotor and prefrontal cortical areas differ in movement execution and observation in humans / C. Babiloni [et al.] // Clin Neurophysiol. – 2016. – V. 127 (1). – P. 641–54.
9. Mu-suppression during action observation and execution correlates with BOLD in dorsal premotor, inferior parietal, and SI cortices / D. Arnstein [et al.] // The Journal of Neuroscience. – 2011. – V. 31, №40. – P. 14243–14249.
10. Muthukumaraswamy S. D. Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp / S. D. Muthukumaraswamy, B. W. Johnson, N. A. McNair // Cognitive Brain Research. – 2004. – V. 19. – P. 195–201.
11. Spontaneous imitative movements induced by an illusory embodied fake hand / S. Shibuya [et al.] // Neuropsychologia. – 2018. – P. 111. – P. 77–84.
12. Oberman L. M. Modulation of mu suppression in children with autism spectrum disorders in response to familiar or unfamiliar stimuli: The mirror neuron hypothesis / L. M. Oberman, V. S. Ramachandran, J. A. Pineda // Neuropsychologia. – 2008. – V. 46, № 5. – P. 1558–1565.
13. Аликина М. А. Сравнение эффектов реактивности сенсомоторного ритма ЭЭГ в условиях синхронной имитации биологического и небиологического движений / М. А. Аликина, С. А. Махин, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2017. – Т. 3 (69), №4. – С.3–12.
14. Desy M. - C. Skin color has no impact on motor resonance: Evidence from mu rhythm suppression and imitation / M. - C. Desy, J.-F. Lepage // Neuroscience Research. – 2013. – P. 77. – P. 58–63.



15. Investigating the human mirror neuron system by means of cortical synchronization during the imitation of biological movements / K. Kessler [et al.] // *NeuroImage*. – 2006. – 33. – P. 227–238.

**EEG SENSORIMOTOR RHYTHM REACTIVITY UNDER CONDITIONS OF SYNCHRONOUS IMITATION OF BIOLOGICAL AND NON-BIOLOGICAL MOVEMENT IN CHILDREN AGED 6-9**

*Kaida A. I., Eismont E. V., Muminova L. L., Makhin S. A.*

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia  
E-mail: kaydaanna@gmail.com*

A sample of healthy children (N=60) aged 6-9 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 EEG parameters were recorded, processed, and analyzed according to the standard technique using an automatic complex consisting of an electroencephalograph (Neuron Spectrum-3) and a personal computer. The differences in the EEG sensorimotor rhythm (8–13 Hz) amplitude were analyzed separately for each series under the electrodes F<sub>Z</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>, C<sub>Z</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, P<sub>Z</sub>, P<sub>3</sub> and P<sub>4</sub>. The condition of synchronous imitation of the colored spot movements revealed significant increase in the amplitude of sensorimotor rhythm in comparison with the preceding condition of self-controlled hand movements (C<sub>3</sub>;  $t = -2,09$ ;  $p = 0,04$ ). The condition of the real-time imitation of another man's hand movements, compared to the condition of similarly performed self-paced movements, didn't produce any significant changes of sensorimotor rhythm. Comparative analysis of the synchronization / desynchronization index showed statistically significant differences for P<sub>Z</sub> electrode site. In the condition of synchronous imitation of the colored spot movements insignificant synchronization of sensorimotor rhythm (-0.4 %) was observed. The condition of the real-time imitation of another man's hand movements revealed a significant desynchronization (3.4 %) of sensorimotor rhythm. Additionally, positive correlations were found between simultaneity coefficient in the condition of the colored spot movements imitation and sensorimotor rhythm desynchronization index in the condition of the real-time imitation of another man's hand movements for C<sub>Z</sub>, C<sub>3</sub>, P<sub>Z</sub>, P<sub>3</sub> electrode site.

**Keywords:** electroencephalogram, sensorimotor rhythm, mu-rhythm, alpha-rhythm, mirror neuron system, imitation, children.

### References

1. Rizzolatti G., Fadiga L., Gallese V., Fogassi L., Premotor cortex and the recognition of motor actions, *Cognitive Brain Research*, **3**(2), 131 (1996).
2. Ferrari P. F., Rizzolatti G., New frontiers in mirror neurons research, NY: *Oxford University Press*, (2015).
3. Koul A., Cavallo A., Cauda F., Costa T., Diano M., Pontil M. and Becchio C., Action observation areas represent intentions from subtle kinematic features, (2018).
4. Wohlschläger A., Gattis M., Bekkering H., Action generation and action perception in imitation: an instance of the ideomotor principle, *Philos. Trans. R Soc. Lond., B Biol. Sci.*, **358**, 501 (2003).
5. Hannah M., Hobson H. M., Bishop V. M., A good measure of the human mirror neuron system?, *Cortex*, **82**, 290 (2016).
6. Bimbi M., Festante F., Coude G., Vanderwert R. E., Fox N. A. and Ferrari P. F., Simultaneous scalp recorded EEG and local field potentials from monkey ventral premotor cortex during action observation and execution reveals the contribution of mirror and motor neurons to the mu-rhythm, *Neuroimage*, **175**, 22 (2018).
7. Pineda J. A., The functional significance of mu rhythms: Translating “seeing” and “hearing” into “doing”, *Brain Research Reviews*, **50**, 57 (2005).
8. Babiloni C., De Percio C., Vecchio F., Sebastiano F. Alpha, beta and gamma electrocorticographic rhythms in somatosensory, motor, premotor and prefrontal cortical areas differ in movement execution and observation in humans, *Clin Neurophysiol*, **127** (1), 641 (2016).
9. Arnstein D., Cui F., Keyser C., Maurits N. M., Mu-suppression during action observation and execution correlates with BOLD in dorsal premotor, inferior parietal, and SI cortices, *The Journal of Neuroscience*, **31**(40), 14243 (2011).
10. Muthukumaraswamy S. D., Johnson B. W., McNair N. A., Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp, *Cognitive Brain Research*, **19**, 195 (2004).
11. Shibuya S., Unenaka S., Zama T., Shimada S. and Ohki Y., Spontaneous imitative movements induced by an illusory embodied fake hand, *Neuropsychologia*, **111**, 77 (2018).
12. Oberman L. M., Ramachandran V. S., Pineda J. A., Modulation of mu suppression in children with autism spectrum disorders in response to familiar or unfamiliar stimuli: The mirror neuron hypothesis, *Neuropsychologia*, **46**(5), 1558 (2008).
13. Alikina M. A., Makhin S. A., Pavlenko V. B. Comparison of the EEG sensorimotor rhythm reactivity effects under conditions of synchronous imitation of biological and non-biological movement, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University*, **3** (3), 3 (2017).
14. Desy M.-C., Lepage J.-F., Skin color has no impact on motor resonance: Evidence from mu rhythm suppression and imitation, *Neuroscience Research*, **77**, 58 (2013).
15. Kessler K., Biermann-Rubén K., Jonas M., Siebner H. R. Bäumer T., Münchau A. and Schnitzler A., Investigating the human mirror neuron system by means of cortical synchronization during the imitation of biological movements, *NeuroImage*, **33**, 227 (2006).