

УДК 612.821

СВЯЗЬ РЕАКТИВНОСТИ СЕНСОМОТОРНОГО РИТМА ЭЭГ ПСИХОЛОГИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ У ДЕТЕЙ 6-9 ЛЕТ

Кайда А. И., Эйсмонт Е. В.

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

Исследовались особенности реактивности индивидуально рассчитанного частотного диапазона сенсомоторного ритма ЭЭГ, а также связи реактивности с уровнем когнитивного развития и состоянием эмоциональной сферы у детей 6-9 лет (N=60). Статистически значимое снижение мощности сенсомоторного ритма при выполнении детьми самостоятельных движений правой рукой относительно состояния двигательного покоя наблюдалось в отведении С3. Большим значениям индекса десинхронизации сенсомоторного ритма соответствовали более высокие показатели по невербальным шкалам и более низкие показатели по вербальному субтесту «Арифметический» теста Векслера. Также были выявлены отрицательные корреляции со значениями по шкалам «депрессивность», «трудности общения» и «чувство неполноценности», определяемым с помощью проективной методики «Дом-Дерево-Человек».

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

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается увеличение числа детей и подростков, имеющих целый ряд различных психологических нарушений, в связи с чем все большую актуальность приобретает психологическое здоровье подрастающего поколения [1]. Большое значение также имеет проблема исследования и оценки когнитивного развития. Несмотря на то, что изучением интеллекта и внимания занимаются в течение долгих лет, многое по-прежнему сомнительно и противоречиво. Важным направлением в этой области является изучение сенсомоторного ритма (мю-ритма) ЭЭГ (8-13 Гц), который регистрируется в состоянии двигательного покоя над локусами С3, Сз и С4 [2]. Амплитуда данного ритма снижается как при выполнении действия, так и при наблюдении за этим действием. У индивидов, страдающих расстройствами аутистического спектра, подобного падения сенсомоторного ритма при наблюдении за действием другого лица зарегистрировано не было [3].

Проведенные ранее исследования с использованием метода ЭЭГ продемонстрировали прямую зависимость между амплитудой альфа-волн и показателями интеллекта [4]. Также было выявлено, что снижение мощности в альфа диапазоне (8-13 Гц) было связано с меньшим количеством ошибок при решении семантических задач и лучшим запоминанием информации [5]. Экспериментальные данные также свидетельствуют в пользу того, что реакция десинхронизации в диапазоне альфа-ритма положительно коррелирует не только с

восприятием и обработкой информации [6], но и с активностью корковых сетей, связанных с обработкой социальной информации высшего порядка [7].

При этом особенности реактивности индивидуально рассчитанного частотного диапазона сенсомоторного ритма, а также связь его реактивности с уровнем когнитивного развития и состоянием эмоциональной сферы у детей остаются мало изученными. Также, важным представляется выделение индивидуального частотного диапазона сенсомоторного ритма, что может уменьшить эффект смещения мю- и альфа-ритмов. В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является выявление связей между реактивностью сенсомоторного ритма ЭЭГ и психологическими показателями у детей 6-9 лет.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 60 детей в возрасте 6–9 лет (41 мальчик и 19 девочек) 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» и двух персональных компьютеров. Для обработки данных использовалась компьютерная программа «EEG Mapping 3». 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 отведения. 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 30 секунд. 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.

Задачей исследования была регистрация паттернов ЭЭГ в рамках четырех экспериментальных блоков: (1) выполнение самостоятельных движений мышью по кругу, (2) наблюдение за аналогичными движениями, выполняемыми экспериментатором, (3) имитация движений экспериментатора и (4) аудиальное восприятие детьми при закрытых глазах движений мыши экспериментатора). Каждый блок включал в себя предварительный этап расслабления с закрытыми глазами, чтобы обеспечить относительное единообразие исходного психофизиологического состояния.

Далее для каждого этапа рассчитывалось среднее значение мощности ЭЭГ в диапазоне индивидуально рассчитанного сенсомоторного ритма в центральных отведениях C3, C4 и Cz. В качестве эпох анализа использовались временные интервалы по 3 секунды с перекрытием 50%. Методика расчета индивидуального

частотного диапазона основывалась на выделении отрезка ЭЭГ в диапазоне от 6 до 13 Гц шириной 2 Гц, которому соответствует максимальная реакция десинхронизации (падения) в отведении С3 при совершении самостоятельно контролируемых движений правой рукой относительно условия зрительной фиксации на видеоизображении неподвижно лежащей на столе компьютерной мыши. Сравнивались усредненные мощности биопотенциалов, зарегистрированные на протяжении одной минуты (2 x 30 секунд), соответствующие экспериментальным ситуациям фиксации взгляда на неподвижной компьютерной мыши и самостоятельных движений. Для этого полный частотный диапазон сенсомоторного ритма разбивался на отрезки шириной в один Гц, каждый из которых оценивался с целью поиска реакции максимальной десинхронизации. В зависимости от ее величины выбирались два смежных отрезка, демонстрирующие максимальное падение относительно других. Далее они рассматривались как индивидуальный частотный диапазон сенсомоторного ритма.

Рассчитывались индексы синхронизации/десинхронизации сенсомоторного ритма для каждого экспериментального блока по отношению к исходному состоянию. Для блоков (1) и (2) это была ситуация наблюдения за видеоизображением неподвижно лежащей компьютерной мыши; для блока (3) – самостоятельные движения компьютерной мышью; для блока (4) – расслабленное состояние с закрытыми глазами. Положительные значения индекса десинхронизации свидетельствовали о снижении мощности сенсомоторного ритма относительно исходного состояния, а отрицательные – об увеличении мощности исследуемого ритма.

Для оценки уровня интеллектуального развития детей использовали тест Векслера (WISC) [8]. Тест состоит из 5 вербальных и 5 невербальных субтестов, которые измеряют разные способности, а в сумме дают коэффициент умственного развития ребенка (показатель IQ).

Для оценки уровня развития внимания использовали go/no-go-тест. Испытуемым предъявляли пары (30 пар) слуховых стимулов разной тональности (высокая-высокая, высокая-низкая, низкая-низкая, низкая-высокая) с интервалами по 2 с внутри пары и по 4 с между парами. Длительность низкого и высокого сигналов составляла 200 мс. Частота низкого тона составляла 400 Гц, высокого – 1000 Гц. Пары тонов предъявлялись в случайном порядке с одинаковой вероятностью (приближающейся к 50%) появления как низкого, так и высокого тона. Задача испытуемых заключалась в том, чтобы нажать на кнопку ведущей рукой со временем реакции не более эталонного в ответ на предъявление второго стимула пары, состоящей из двух стимулов одинаковой частоты, высокой или низкой, и не реагировать на пары сигналов, имеющих разную тональность. В результате проведения go/no-go-теста для каждого испытуемого определяли среднее время реакции (в мс), количество ошибок пропуска значимых стимулов, когда испытуемый не нажимал на кнопку при предъявлении пар стимулов, требующих нажатия, и количество ошибочных нажатий, когда испытуемый нажимал на кнопку в случае предъявления стимулов разной тональности.

Также применяли проективный тест «Дом – Дерево – Человек» [9]. При использовании данной методики ребенку дается лист бумаги размера А4, сложенный

пополам, на котором он, согласно инструкции, должен нарисовать дом, дерево и человека. Каждый заданный объект рисуется на отдельной части листа. Данная методика позволяет производить количественную оценку уровня таких показателей, как «незащищенность», «тревожность», «недоверие к себе», «чувство неполноценности», «враждебность», «фрустрация», «трудности общения» и «депрессивность» в баллах в зависимости от наличия в рисунке ряда определенных качественных показателей (например, наличие облаков и выраженная штриховка в рисунках, интенсивно затушеванные волосы у нарисованного человека и др., относящихся по данной методике к симптомокомплексу «тревожность»).

Данные электрофизиологического исследования и показатели психологических тестов количественно обрабатывались посредством стандартных методов вариационной статистики. Для расчета корреляций использовали коэффициент корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного исследования были получены следующие данные. При выполнении испытуемыми самостоятельных произвольных движений компьютерной мышью наиболее значимое падение сенсомоторного ритма наблюдалось в отведении С3, в сравнении с предыдущей фоновой записью ЭЭГ при открытых глазах в состоянии двигательного покоя. В локусе Cz было зарегистрировано незначительное снижение мощности сенсомоторного ритма. Также наблюдалось возрастание мощности сенсомоторного ритма в отведении С4 (рис. 1).

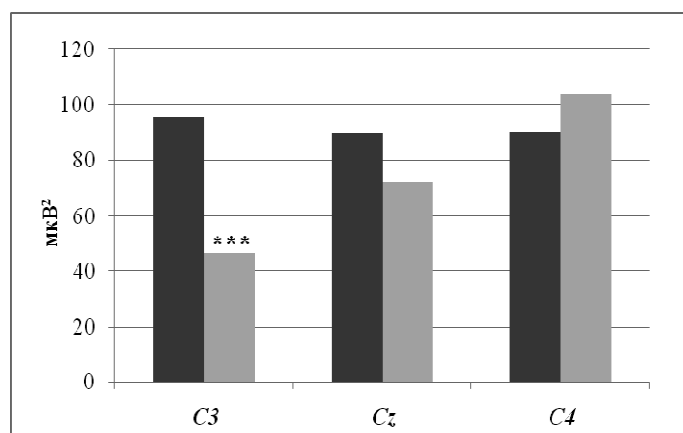


Рис. 1. Диаграммы значений мощности сенсомоторного ритма при открытых глазах в состоянии двигательного покоя (темные столбцы) и при выполнении испытуемыми самостоятельных движений (светлые столбцы). По горизонтали – локусы отведений, по вертикали – мощность сенсомоторного ритма (мкВ^2). Звездочками отмечен случай значимости изменения мощности сенсомоторного ритма при $P < 0,001$.

Десинхронизация сенсомоторного ритма в отведении С3 является логичной, поскольку контроль над движениями правой руки осуществляет моторная зона контралатерального, т.е. левого, полушария. Кроме того, имеются сведения об усилении десинхронизации ЭЭГ-активности при когнитивной обработке испытуемыми озвученного экспериментатором задания [10]. Синхронизация мю-активности в правом полушарии может рассматриваться как компенсаторное снижение активности сенсомоторной зоны ипсилатерального полушария, что, как правило, сопровождается увеличением мощности ритма «холостого хода», т.е. альфа-ритма [11].

В остальных экспериментальных блоках статистически значимых изменений мощности анализируемого ритма обнаружено не было.

Результаты корреляционного анализа показали наличие статистически значимых связей между индексом десинхронизации индивидуально рассчитанного сенсомоторного ритма, с одной стороны, и показателями, характеризующими уровень развития когнитивных функций, а также состояние эмоциональной сферы детей, с другой стороны. Так, было выявлено, что большим значениям индекса десинхронизации сенсомоторного ритма в отведении Cz при выполнении испытуемыми самостоятельных движений, соответствовали большие значения по шкале «Недоверие к себе» проективной методики «Дом-Дерево-Человек» ($r = 0,33, p = 0,01$).

Чем больше был процент падения сенсомоторного ритма в отведениях Cz и C3 в данной экспериментальной ситуации, тем выше были значения по невербальному субтесту «Последовательные картинки» в тесте Векслера (рис. 2). Полученные результаты согласуются с исследованием, проведенным в 2015 году, где было показано, что у испытуемых с высоким уровнем невербального интеллекта депрессия сенсомоторного ритма была более выражена, чем у людей с низким уровнем невербального интеллекта в тесте Векслера [12].

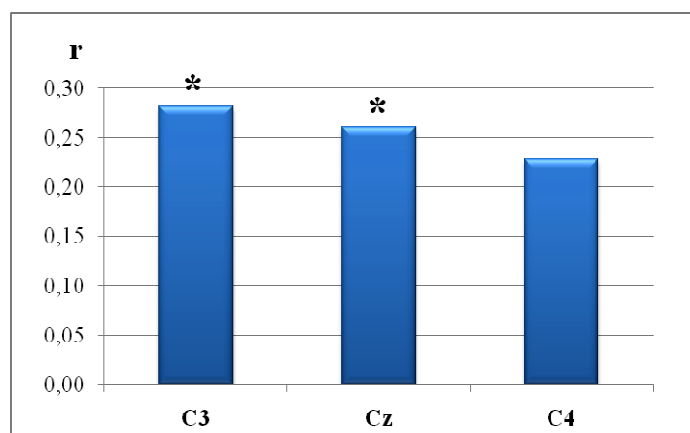


Рис. 2. Значения коэффициентов корреляции (r) величины индекса десинхронизации сенсомоторного ритма в отведениях C3, Cz и C4 при выполнении испытуемыми самостоятельных движений с показателями по невербальному субтесту «Последовательные картинки» в тесте Векслера. Звездочками отмечены случаи значимости корреляционной зависимости: * $P < 0,05$.

Также, чем выше был индекс десинхронизации сенсомоторного ритма в отведении С3 при выполнении испытуемыми самостоятельных движений, тем ниже были значения по вербальному субтесту «Арифметический» ($r = -0,33$, $p = 0,01$). Можно выдвинуть предположение, что для детей с меньшей реактивностью зеркальной системы мозга в срединной центральной области характерна лучшая сосредоточенность на выполняемом задании. Также можно предположить, что более сильный эмоциональный резонанс одного лица с другим может приводить к увеличению времени, затрачиваемому на выполнение заданий, требующих достаточно высокой концентрации произвольного внимания, например, таких как арифметический счет.

Большим значениям индекса десинхронизации сенсомоторного ритма в отведении С4 при выполнении испытуемыми самостоятельных движений, соответствовали большие значения общего уровня интеллекта в тесте Векслера (рис. 3).

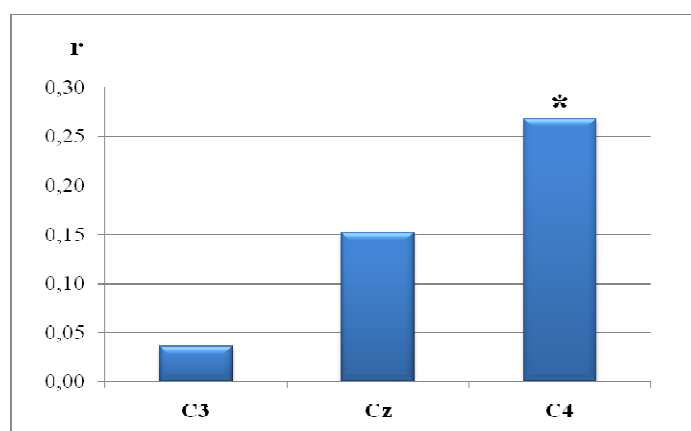


Рис. 3. Значения коэффициентов корреляции (r) величины индекса десинхронизации сенсомоторного ритма в отведениях С3, Сz и С4 при выполнении испытуемыми самостоятельных движений с показателем «Общий интеллект» теста Векслера. Остальные обозначения те же, что на рис. 2.

Чем выше был индекс десинхронизации сенсомоторного ритма в отведении Сz при наблюдении испытуемым движений, выполняемых экспериментатором, тем были выше значения по невербальному субтесту «Последовательные картинки» в тесте Векслера (рис. 4).

Чем выше был индекс десинхронизации сенсомоторного ритма в отведении С4 при имитации испытуемым движений экспериментатора, тем большее число ошибок наблюдалось при выполнении теста «go/no-go» ($r = 0,26$, $p = 0,04$).

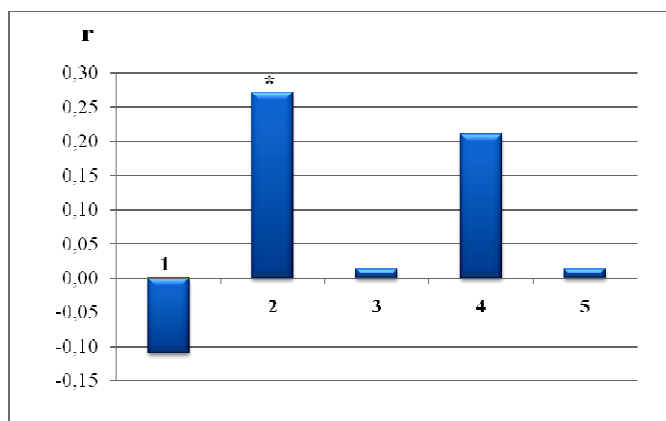


Рис. 4. Значения коэффициентов корреляции (r) величины индекса десинхронизации сенсомоторного ритма в отведении Cz при наблюдении испытуемым движений, выполняемых экспериментатором с показателями по невербальным шкалам теста Векслера: 1 – «Недостающие детали», 2 – «Последовательные картинки», 3 – «Кубики Кооса», 4 – «Складывание фигур», 5 – «Шифровка». Остальные обозначения те же, что на рис. 2.

Также, большим значениям индекса десинхронизации сенсомоторного ритма в отведении С4 в данной экспериментальной ситуации, соответствовали большие значения по невербальному субтесту «Складывание фигур» (рис. 5).

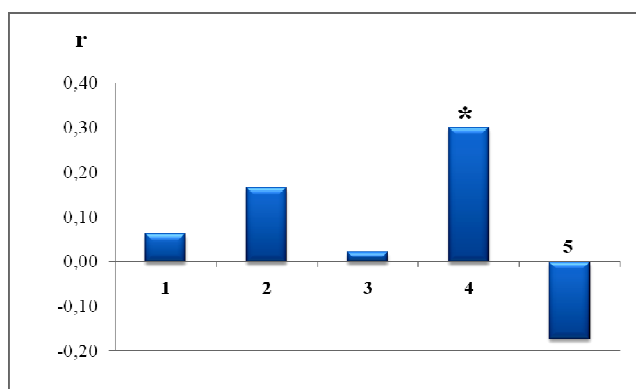


Рис. 5. Значения коэффициентов корреляции (r) величины индекса десинхронизации сенсомоторного ритма в отведении С4 при имитации испытуемым движений экспериментатора с показателями по невербальным шкалам теста Векслера: 1 – «Недостающие детали», 2 – «Последовательные картинки», 3 – «Кубики Кооса», 4 – «Складывание фигур», 5 – «Шифровка». Остальные обозначения те же, что на рис. 2.

Большим значениям индекса десинхронизации сенсомоторного ритма в отведении Сз при восприятии испытуемыми на слух при закрытых глазах звуков, сопровождающих движения мышью, совершаемых экспериментатором, соответствовали меньшие значения по шкале «депрессивность» проективной методики «Дом-Дерево-Человек» ($r = -0,28, p = 0,03$).

Чем выше был индекс десинхронизации сенсомоторного ритма в отведении С3 в данной экспериментальной ситуации, тем ниже были значения по шкале «трудности общения» проективной методики «Дом-Дерево-Человек» (рис. 6).

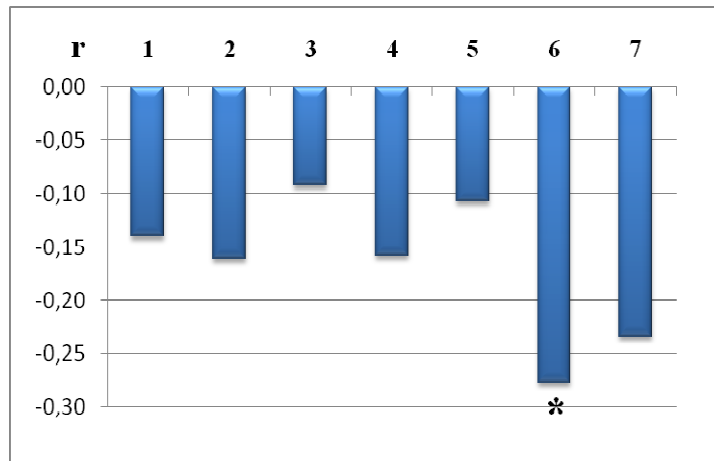


Рис. 6. Значения коэффициентов корреляции (r) величины индекса десинхронизации сенсомоторного ритма в отведении С3 при восприятии испытуемыми на слух при закрытых глазах звуков, сопровождающих движения мышью, совершаемых экспериментатором, с показателями теста «Дом-Дерево-Человек»: 1 – «незащищенность», 2 – «недоверие к себе», 3 – «чувство неполноценности», 4 – «враждебность», 5 – «фрустрация», 6 – «трудности общения», 7 – «депрессивность». Остальные обозначения те же, что на рис. 2.

Также, чем выше был индекс десинхронизации сенсомоторного ритма в отведении С4 при восприятии испытуемыми на слух при закрытых глазах звуков, сопровождающих движения мышью, совершаемых экспериментатором, тем ниже были значения по шкале «чувство неполноценности» ($r = -0,26, p = 0,04$) проективной методики «Дом-Дерево-Человек».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате проведенного исследования были выявлены статистически значимые изменения мощности сенсомоторного ритма ЭЭГ при проведении теста на активацию зеркальной системы мозга, а также статистически значимые связи между реактивностью сенсомоторного ритма и показателями,

- характеризующими уровень когнитивного развития и состояние эмоциональной сферы у детей 6-9 лет.
2. В ситуации выполнения детьми самостоятельных движений правой рукой наблюдалось статистически значимое снижение мощности сенсомоторного ритма в левом центральном отведении относительно ситуации двигательного покоя.
 3. Более высоким значениям индекса десинхронизации сенсомоторного ритма ЭЭГ у детей в тесте на активацию зеркальной системы мозга соответствовали статистически значимо более высокие показатели по невербальным шкалам и более низкие показатели по вербальному субтесту «Арифметический» теста Векслера.
 4. Более высоким значениям индекса десинхронизации сенсомоторного ритма при слуховом восприятии детьми при закрытых глазах звуков, сопровождающих движения экспериментатора, соответствовали меньшие значения по шкалам «депрессивность», «трудности общения» и «чувство неполноценности», определяемым с помощью проективной методики «Дом-Дерево-Человек».

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

Исследование частично выполнено при финансовой поддержке Программы развития Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского на 2015 – 2024 годы

Список литературы

1. Костина Л. М. Методы диагностики тревожности / Л. М. Костина. – СПб.: Речь, 2006. – 198 с.
2. 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.
3. Hobson H.M. The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: past, present and future / H.M. Hobson, D. V. Bishop // R Soc Open Sci. – 2017. – №. 4 (3). – P. 1606-62.
4. EEG alpha synchronization is related to top-down processing in convergent and divergent thinking / M. Benedek, S. Bergner, T. Konen [et al.] // Neuropsychologia. – 2011. – V. 49 (12). – P. 3505-3511.
5. Intelligence related upper alpha desynchronization in a semantic memory task / M. Doppelmayr, W. Klimesch, K. Hodlmoser [et al.] // Brain Res. Bull. – 2005. – V. 66 (2). – P. 171-177.
6. Perry A. Exploring motor system contributions to the perception of social information: evidence from EEG activity in the mu/alpha frequency range / A. Perry, N. F. Troje, S. Bentin // Soc. Neurosci. – 2010. – V. 5 (3). – P. 272-284.
7. Ferrari P. F. New frontiers in mirror neurons research / P. F. Ferrari, G. Rizzolatti // NY: Oxford University Press. – 2015.
8. Ильина М. Н. Психологическая оценка интеллекта у детей / М. Н. Ильина – П.: Питер, 2006. – 368 с.
9. Беляускяйте Р. Рисуночные пробы как средство диагностики развития личности ребенка / Р. Беляускяйте // Диагностическая и коррекционная работа школьного психолога. – М.: АПН СССР, 1987. – С. 67-74.
10. Electroencephalographic signatures of attentional and cognitive default modes in spontaneous brain activity fluctuations at rest / H. Laufs, K. Krakow, P. Sterzer [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. – 2003. – Т. 100, № 19. – P. 11053-11058.

11. Шевелев И. А. Волновые процессы в зрительной коре мозга / И. А. Шевелев // Природа. – 2001. – № 12. – С. 10-15.
12. A possible correlation between performance IQ, visuomotor adaptation ability and mu suppression. / M. N. Anwar, M. S. Navid, M. Khan [et al.] // Brain Res. – 2015. – Т. 1603. – P. 84-93.

THE RELATIONS BETWEEN EEG SENSORIMOTOR RHYTHM REACTIVITY AND PSYCHOLOGICAL INDICATORS IN CHILDREN AGED 6-9

Kaida A. I., Eismont E. V.

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

The features of the individually calculated EEG sensorimotor rhythm reactivity were investigated, as well as the relationship between sensorimotor rhythm reactivity and the level of cognitive development and the state of the emotional sphere in children aged 6-9 (N=60). 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 C₃, C_z and C₄. The condition of performed self-paced movements, compared to the state of motor rest revealed statistically significant decrease in the sensorimotor rhythm power under C₃ electrode site. Positive correlations were found between the sensorimotor rhythm desynchronization index and the values of non-verbal scales in the Wechsler test. In addition, negative correlations were discovered between the sensorimotor rhythm desynchronization index in the condition of performed self-paced movements and the values of the «Arithmetic» scale in the Wechsler test. Negative correlations were also found between the sensorimotor rhythm desynchronization index and the values of the «depressiveness», «difficulties in communication» and «sense of inferiority» scales in the «House – Tree – Man» test.

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

References

1. Kostina L., M Methods of anxiety diagnostic / L. M. Kostina, *Speech*, 198 (2006).
2. 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).
3. Hobson H.M., Bishop D. V., The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: past, present and future, *R Soc Open Sci.*, **4** (3), 1606 (2017).
4. Benedek M., Bergner S., Konen T., EEG alpha synchronization is related to top-down processing in convergent and divergent thinking, *Neuropsychologia*, 49 (12), 3505 (2011).
5. Doppelmayr M., Klimesch W., Hodlmoser K., Intelligence related upper alpha desynchronization in a semantic memory task, *Brain Res. Bull.*, **66** (2), 171 (2005).

6. Perry A., Troje N. F., Bentin S., Exploring motor system contributions to the perception of social information: evidence from EEG activity in the mu/alpha frequency range, *Soc. Neurosci.*, **5** (3), 272 (2010).
7. Ferrari P.F., Rizzolatti G., *New frontiers in mirror neurons research*, NY: *Oxford University Press*, (2015).
8. Илина М. Н. Psychological evaluation of intelligence in children, Peter, 368 (2006).
9. Belyauskaite R., *Drawings as a means of diagnosing the development of the child's personality*, Moscow, 67 (1987).
10. Laufs H., Krakow K., Sterzer P., Electroencephalographic signatures of attentional and cognitive default modes in spontaneous brain activity fluctuations at rest, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, **19**, 11053 (2003).
11. Shevelev I. A., Wave processes in the visual cortex of the brain, *Nature*, **12**, 10 (2001).
12. Anwar M. N., Navid M. S, Khan M., A possible correlation between performance IQ, visuomotor adaptation ability and mu suppression, *Brain Res.*, **1603**, 84 (2015).