

УДК 612.821

ОСОБЕННОСТИ ЭЭГ У ДЕТЕЙ С ЗАДЕРЖКАМИ РЕЧЕВОГО РАЗВИТИЯ

Кайда А. И.¹, Михайлова А. А.¹, Эйсмонт Е. В.¹, Орехова Л. С.¹, Шепитько Л. С.²

¹Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия

*²ГБУЗ РК Крымская республиканская клиническая психиатрическая больница № 1 им. Н. И. Балабана, Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: kaydaanna@gmail.com*

Целью настоящего исследования явилось выявление и анализ особенностей ЭЭГ у детей с задержками речевого развития. В исследовании приняли участие 17 детей в возрасте 1–3 года, из них 7 детей с ЗРР и 10 детей, развивающихся нормально, 28 детей в возрасте 4–8 лет, из них 14 детей с ЗРР и 14 детей, развивающихся нормально. Регистрировали ЭЭГ при открытых глазах в состоянии двигательного покоя. У детей 1–3-х лет с ЗРР выявлена большая относительная мощность тета-ритма ЭЭГ в лобных и затылочных отведениях по сравнению с нормально развивающимися сверстниками, а также меньшая относительная мощность альфа-ритма в локусе Cz и бета-ритма в отведении F4. У детей 4–8 лет с ЗРР также была выявлена меньшая относительная мощность альфа-ритма в отведениях Pz и O2.

Ключевые слова: ЭЭГ, относительная мощность, тета-ритм, альфа-ритм, бета-ритм, дети.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время задержки речевого развития (ЗРР) у детей представляют одну из наиболее актуальных проблем, а частота встречаемости подобных нарушений среди детей составляет около 5–20 % [1]. По результатам, полученным Институтом возрастной физиологии Российской академии образования, более 60 % детей, которые испытывают трудности при обучении в школе, имеют нарушения речевого развития [2]. На поведенческом уровне фонологический дефицит является основной характеристикой большинства расстройств речи. Задержка развития речи у детей часто является не единственной проблемой и может сопровождаться задержкой развития невербальных функций [3, 4], внимания [5–7] и рабочей памяти [8].

В первые шесть лет жизни дети демонстрируют значительный скачок в развитии разговорной речи, переходя от первых слов к сочетанию нескольких слов и построению предложений одновременно с освоением грамматики [9]. В этот период наиболее часто диагностируют различные речевые расстройства и нарушения нервно-психического развития [4].

В настоящее время проводятся исследования нарушений речевого развития с помощью таких электрофизиологических методов, как электроэнцефалография (ЭЭГ) и регистрация связанных с событием потенциалов (ERP) [10–13]. Метод регистрации связанных с событием потенциалов позволил выявить атипичную семантическую обработку на уровне предложений у детей дошкольного возраста с

задержками речевого развития [14]. В работе Schiavone et al. были найдены два маркера ЭЭГ: относительные амплитуды в дельта- и альфа-диапазонах частот, связанные с риском дислексии [15]. Было установлено, что тета-ритм ЭЭГ чувствителен к семантической составляющей речи, а бета-ритм играет важную роль в синтаксической интеграции [16].

Нейрофизиологические механизмы, обуславливающие развитие устной речи, все еще исследуются с целью выявления объективного ЭЭГ-маркера задержек речевого развития. Лучшее понимание задержек в развитии речи может помочь разработать эффективные методы коррекции. В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования явилось выявление и анализ относительной мощности (ОМ) ритмов ЭЭГ при открытых глазах в состоянии двигательного покоя у детей с ЗРР.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 45 детей 1–8 лет. В дальнейшем дети были разделены на две возрастные группы: 17 детей в возрасте 1–3 года, из них 7 детей с ЗРР (основная группа) и 10 детей, развивающихся нормально (контрольная группа) и 28 детей в возрасте 4–8 лет, из них 14 детей с ЗРР (основная группа) и 14 детей, развивающихся нормально (контрольная группа). Поскольку испытуемые не достигли пубертатного периода, то показатели ЭЭГ рассматривались для объединенной группы мальчиков и девочек. Регистрация, обработка и анализ ЭЭГ осуществлялись по общепринятой методике с помощью автоматизированного комплекса, состоящего из электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-5» (фирма «Нейрософт») и персонального компьютера. 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. 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. Сигналы обрабатывались с помощью быстрого преобразования Фурье.

У детей регистрировали ЭЭГ при открытых глазах в состоянии двигательного покоя. Для обработки брали безартефактные отрезки ЭЭГ, которые разбивали на эпохи по 2,56 с. В выборку включали записи, содержащие ряд отрезков общей длительностью не менее 30 секунд.

Известно, что у детей раннего возраста частотные диапазоны ритмов ЭЭГ отличаются от частотных диапазонов ЭЭГ взрослых. Поэтому, исходя из данных литературы у детей раннего возраста определяли значения ОМ ЭЭГ в следующих частотных диапазонах: тета- (3–5 Гц), альфа- (6–9 Гц), бета- (10–25 Гц) ритмы [17–19]. Для детей 4–8 лет определяли значения ОМ ЭЭГ в следующих частотных диапазонах: тета- (4–7 Гц), альфа- (8–13 Гц) и бета- (14–20 Гц) ритмы. ОМ для каждого ритма ЭЭГ рассчитывалась как отношение мощности отдельного ритма к сумме мощностей всех исследованных ритмов в каждом отведении. Указанный показатель отражает относительный вклад конкретного ритма в общую электрическую активность в определенном отведении ЭЭГ. Считается, что использование показателей ОМ минимизирует индивидуальные различия

абсолютной мощности, связанные с возрастом, толщиной черепа и другими анатомическими факторами.

Различия в ОМ детей с ЗРП и детей, развивающихся нормально, оценивались с помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями (repeated measures ANOVA). Оценивали влияние факторов «Группа» (дети с ЗРП по сравнению с детьми, развивающимися нормально), «Возраст» (дети в возрасте 1–3 года и 4–8 лет) и «Локус» (11 отведений ЭЭГ). Далее, для расчета статистической значимости различий в ОМ ЭЭГ у детей с ЗРП по сравнению с детьми, развивающимися нормально, в привязке отдельно к каждому из одиннадцати отведений ЭЭГ, в рамках каждой возрастной группы использовался метод априорных контрастов (оценка F-распределения).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Дисперсионный анализ относительной мощности тета-ритма у детей с ЗРП и нормально развивающихся детей с учетом локуса отведения ЭЭГ показал значимое влияние факторов «Группа» ($F(1;41) = 4,44$; $p = 0,041$) и «Локус» ($F(10;410) = 4,58$; $p < 0,001$). Статистической значимости достигало взаимодействие факторов «Локус» × «Возраст» ($F(10;410) = 7,58$; $p < 0,001$) и «Локус» × «Возраст» × «Группа» ($F(10;410) = 2,42$; $p = 0,008$). Для оценки различий в ОМ тета-ритма у детей с ЗРП по сравнению с детьми, развивающимися нормально, рассчитывались априорные контрасты на основе F-статистики в каждом из одиннадцати локусов ЭЭГ отдельно для каждой возрастной группы. Ниже представлены гистограммы ОМ тета-ритма у детей 1–3 лет с ЗРП по сравнению с детьми данного возраста, развивающимися нормально (рис. 1).

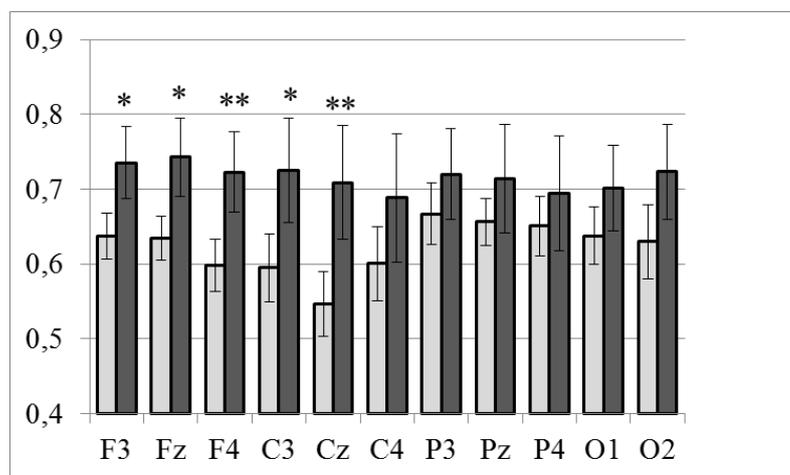


Рис. 1. Значения относительной мощности тета-ритма ЭЭГ при открытых глазах в состоянии покоя у детей 1–3 лет с ЗРП (темные столбцы) и детей, развивающихся нормально (светлые столбцы). По горизонтали – локусы отведений ЭЭГ, по вертикали – значения относительной мощности. Звездочками отмечены случаи достоверных различий между показателями (* – $p \leq 0.05$, ** – $p \leq 0.01$).

У детей 1–3-х лет с ЗРР выявлена бóльшая ОМ тета-ритма по сравнению со сверстниками, развивающимися нормально. Данные различия достигали уровня статистической значимости во фронтальных (Fz: $F = 5,89$, $p = 0,019$; F3: $F = 4,78$, $p = 0,034$; F4: $F = 7,08$, $p = 0,011$) и центральных (Cz: $F = 8,16$; $p = 0,006$; C3: $F = 4,77$, $p = 0,034$) локусах. Выраженность среднелобного тета-ритма связывают с синдромом нарушения внимания и гиперактивности [20]. Можно предположить, что более высокая мощность тета-ритма у детей с ЗРР может свидетельствовать о сниженном уровне внимания по сравнению с детьми контрольной группы.

В ЭЭГ детей 4–8 лет с ЗРР была выявлена на уровне тенденции бóльшая ОМ тета-ритма в париетальном локусе по сравнению с аналогичным ЭЭГ-параметром в группе нормально развивающихся детей (Pz: $F = 3,56$, $p = 0,066$) (рис. 2).

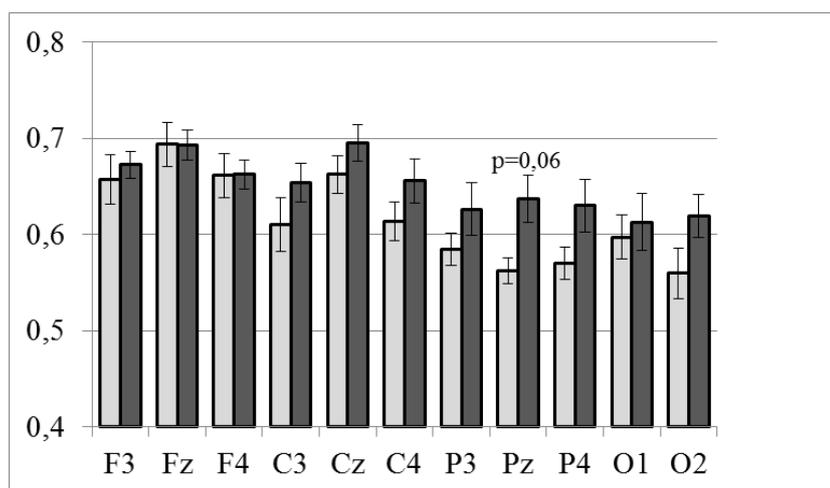


Рис. 2. Значения относительной мощности тета-ритма ЭЭГ при открытых глазах в состоянии покоя у детей 4–8 лет с ЗРР (темные столбцы) и детей, развивающихся нормально (светлые столбцы). По горизонтали – локусы отведений ЭЭГ, по вертикали – значения относительной мощности.

Дисперсионный анализ ОМ альфа-ритма показал значимое влияние факторов «Группа» ($F(1;41) = 5,67$; $p = 0,022$) и «Локус» ($F(10;410) = 3,33$; $p < 0,001$). Статистической значимости достигало взаимодействие факторов «Локус» × «Возраст» ($F(10;410) = 8,83$; $p < 0,001$) и «Локус» × «Возраст» × «Группа» ($F(10;410) = 1,92$; $p = 0,041$).

У детей 1–3-х лет с ЗРР выявлена меньшая ОМ альфа-ритма по сравнению с детьми контрольной группы (рис. 3). Данные различия достигали уровня статистической значимости в отведениях Cz: $F = 8,41$; $p = 0,005$, Fz ($F = 3,98$, $p = 0,05$) и F4 ($F = 4,02$, $p = 0,05$). Ранее установлено, что альфа-индекс с возрастом увеличивается, а индекс медленных волн снижается. Это связано с тем, что наряду с созреванием и миелинизацией коры, усиливаются влияния глубинных синхронизирующих структур и совершенствуются корково-подкорковые

функциональные нейронные связи [21–23]. Таким образом меньшая мощность альфа-ритма ЭЭГ у детей с ЗРП может свидетельствовать о сниженном уровне созревания коры в целом. Обращает внимание, что значимо меньшая мощность альфа-ритма у детей 1–3 лет с ЗРП выявлена в центральном и фронтальных локусах. Известно, что над сенсомоторными участками коры локализован мю-ритм [20], частотный диапазон которого совпадает с частотным диапазоном альфа-ритма [19, 24]. Показатели мю-ритма связывают с развитием двигательных и речевых навыков [25]. Сниженная мощность мю-ритма у детей с ЗРП может свидетельствовать о неоптимальном развитии сенсомоторных областей коры.

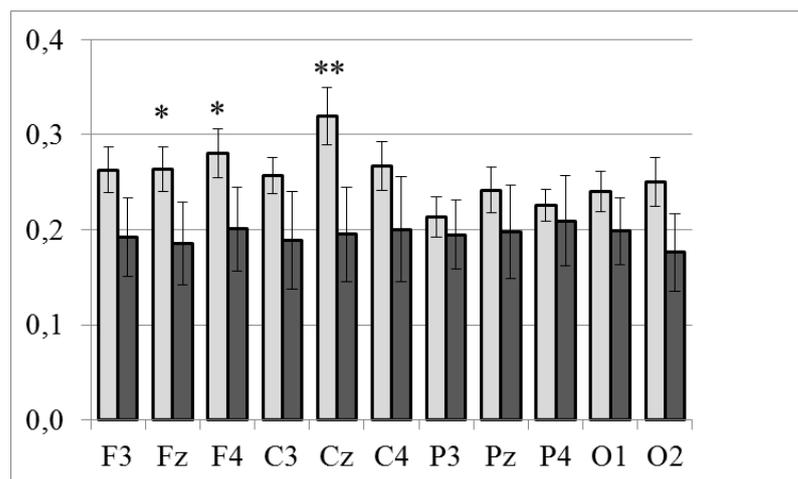


Рис. 3. Значения относительной мощности альфа-ритма ЭЭГ при открытых глазах в состоянии покоя у детей 1–3 лет с ЗРП (темные столбцы) и детей, развивающихся нормально (светлые столбцы). По горизонтали – локусы отведений ЭЭГ, по вертикали – значения относительной мощности. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

У детей 4–8 лет с ЗРП выявлена меньшая ОМ альфа-ритма по сравнению с нормально развивающимися сверстниками (рис. 4). Данные различия достигали уровня статистической значимости в отведениях Pz ($F = 6,53$, $p = 0,01$), O2 ($F = 4,4$; $p = 0,042$) и находились на уровне тенденции в локусе P4 ($F = 3,71$; $p = 0,06$). Чутко Л. С. и соавторы отмечали увеличение представленности альфа-ритма и уменьшение медленно-волновой активности на ЭЭГ после медикаментозной терапии речевых расстройств у детей 5–7 лет [11]. Можно предположить, что сниженная мощность альфа-ритма может быть одним из индикаторов задержки речевого развития у детей.

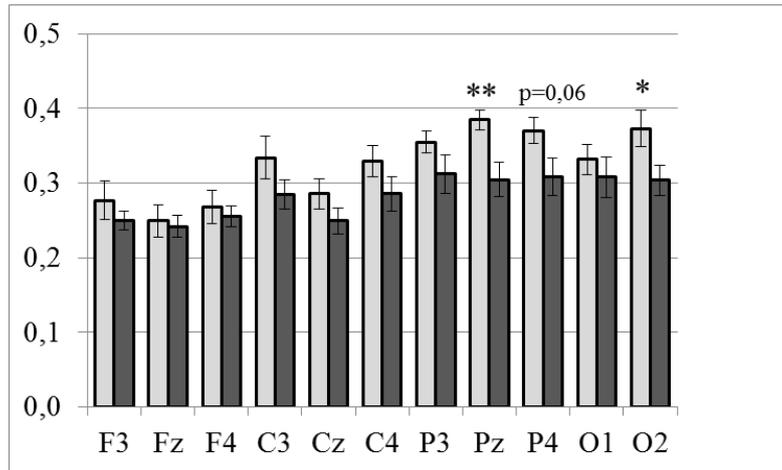


Рис. 4. Значения относительной мощности альфа-ритма ЭЭГ при открытых глазах в состоянии покоя у детей 4–8 лет с ЗРР (темные столбцы) и детей, развивающихся нормально (светлые столбцы). По горизонтали – локусы отведений ЭЭГ, по вертикали – значения относительной мощности. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

Дисперсионный анализ ОМ бета-ритма показал значимое влияние факторов «Возраст» ($F(1;41) = 6,49$; $p = 0,015$) и «Локус» ($F(10;410) = 2,11$; $p = 0,023$). Статистической значимости достигало взаимодействие факторов «Локус» × «Возраст» ($F(10;410) = 3,54$; $p < 0,001$). Гистограммы ОМ бета-ритма у детей 1–3 лет с ЗРР по сравнению с нормально развивающимися детьми представлены на рисунке 5.

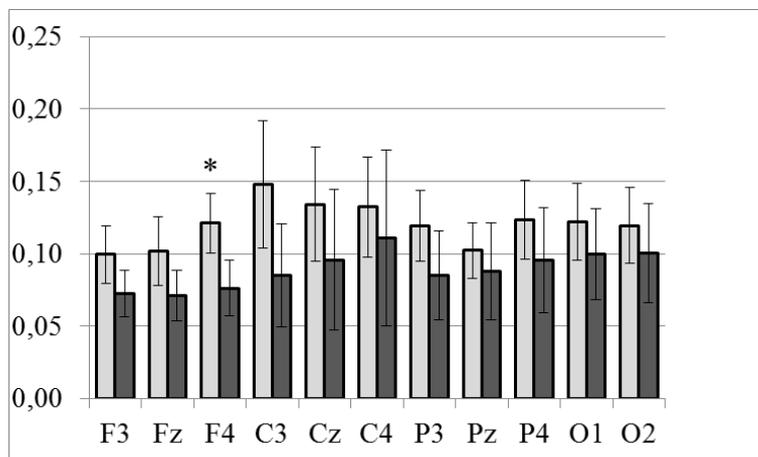


Рис. 5. Значения относительной мощности бета-ритма ЭЭГ при открытых глазах в состоянии покоя у детей 1–3 лет с ЗРР (темные столбцы) и детей, развивающихся нормально (светлые столбцы). По горизонтали – локусы отведений ЭЭГ, по вертикали – значения относительной мощности. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

У детей 1–3-х лет с ЗПРР выявлена меньшая ОМ бета-ритма по сравнению с детьми контрольной группы. Данные различия достигали уровня статистической значимости в отведении F4: $F = 5,13$; $p = 0,02$. В группе детей 4–8 лет статистически значимых различий в ОМ бета-ритма у детей с ЗРР по сравнению с детьми, развивающимися нормально, обнаружено не было.

Ранее было показано, что лобный бета-ритм повышается при решении когнитивных задач, связанных с оценкой стимула и принятием решения [20]. Также установлено, что бета-ритм играет важную роль в синтаксической обработке предложений: наблюдается синхронизация данного ритма при предъявлении грамматически правильных предложений и десинхронизация в момент синтаксической ошибки в предложении [26]. Возможно для детей раннего возраста, развивающихся нормально, задействуется больше когнитивных ресурсов при следовании инструкции – оставаться неподвижным, по сравнению с их сверстниками с ЗРР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты настоящего исследования свидетельствуют о том, что в ЭЭГ детей с ЗРР обеих возрастных групп наблюдаются повышенные значения ОМ тета-ритма и сниженные ОМ альфа-ритма по сравнению с ЭЭГ нормально развивающихся детей. У детей 1-3 лет с ЗРР также наблюдаются сниженные ОМ бета-ритма.

Исследование выполнено в рамках поддержанного федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» гранта № ВГ12/2018».

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

Список литературы

1. Заваденко Н. Н. Трудности школьного обучения: гиперактивное расстройство с дефицитом внимания и дислексия / Н. Н. Заваденко, Н. Ю. Суворинова, М. В. Румянцева // Педиатрия (приложение к Consilium medicum). – 2006. – Т. 8, № 2. – С.47–52.
2. Безруких М. М. Особенности речевого развития и трудности обучения письму и чтению у школьников 1-х и 3-х классов / М. М. Безруких, О. Ю. Крещенко // Нов. исследования. – 2003. – № 1. – С. 68–77.
3. Sokolova L. V. Functional maturity of brain structures in children aged 7-8 with differing levels of speech development / L. V. Sokolova, T. V. Yemelianova // The Spanish Journal of Psychology. – 2011. – Vol. 14, No 1. – P. 509–518.
4. Leonard L. B. Children with specific language impairment (2nd ed.). / L. B. Leonard. – Cambridge, MA: The MIT press, 2014. – 472 p. |
5. Spaulding T. J. Sustained selective attention skills of preschool children with specific language impairment: Evidence for separate attentional capacities / T. J. Spaulding, E. Plante, R. Vance // Journal of Speech, Language and Hearing Research. – 2008. – Vol. 51. – P. 16–34.

6. Markovska-Simoska S. Quantitative EEG in children and adults with Attention Deficit Hyperactivity Disorder: comparison of absolute and relative power spectra and theta/beta ratio / S. Markovska-Simoska, N. Pop-Jordanova // *Clin EEG Neurosci.* – 2017. – Vol. 48(1). – P. 20–32.
7. Clarke A. R. EEG development in Attention Deficit Hyperactivity Disorder: from child to adult / A. R. Clarke, R. J. Barry, S. J. Johnstone // *Clin Neurophysiol.* – 2019. – Vol. 130(8). – P. 1256–1262.
8. Vugs B. Working memory performance and executive function behaviors in young children with SLI / B. Vugs, M. Hendriks, J. Cuperus [et al.] // *Research in Developmental Disabilities.* – 2014. – Vol. 35. – P. 62–74.
9. Paul R. Assessment of developing language, in: lang. disord. From infancy through adolesc. List. Speak. Reading, Writing, Commun., 4th Ed. / R. Paul, C. Norbury // Elsevier Health Sciences. – 2012. – P. 286–346.
10. Levy-Rueff M. Abnormal electroencephalography results and specific language impairment: towards a theoretical neurodevelopmental model? / M. Levy-Rueff, M. Bourgeois, A. Assous [et al.] // *Encephale.* – 2012. – Vol. 38(4). – P. 318–28.
11. Чутко Л. С. Клинические и электроэнцефалографические особенности специфических расстройств речевого развития у детей и оценка эффективности применения Церебролизина / Л. С. Чутко, С. Ю. Сурушкина, Е. А. Яковенко [и др.] // *Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова.* – 2015. – Т. 115, № 7. – С. 98–102.
12. Cantiani C. Auditory discrimination predicts linguistic outcome in Italian infants with and without familial risk for language learning impairment / C. Cantiani, V. Riva, C. Piazza [et al.] // *Dev Cogn Neurosci.* – 2016. – Vol. 20. – P. 23–34.
13. Kwok E. Y L. Dynamics of spontaneous alpha activity correlate with language ability in young children / E. Y L. Kwok, J. O. Cardy, B. L. Allman [et al.] // *Behavioural Brain Research.* – 2019. – Vol. 359, No 1. – P. 56–65.
14. Pijnacker J. Semantic processing of sentences in preschoolers with specific language impairment: evidence from the N400 effect / J. Pijnacker, N. Davids, M. van Weerdenburg [et al.] // *J Speech Lang Hear Res.* – 2017. – No 60(3). – P. 627–639.
15. Schiavone G. Preliteracy signatures of poor-reading abilities in resting-state EEG / G. Schiavone, K. Linkenkaer-Hansen, N. M. Maurits [et al.] // *Front Hum Neurosci.* – 2014. – Vol. 19, No 8. – P. 735.
16. Maguire M. J. What changes in neural oscillations can reveal about developmental cognitive neuroscience: language development as a case in point / M. J. Maguire, A. D. Abel // *Dev Cogn Neurosci.* – 2013. – Vol. 6. – P. 125–36.
17. Stroganova T. A. EEG alpha rhythm in infants / T. A. Stroganova, E. V. Orekhova, I. N. Posikera // *Clin. Neurophysiol.* – 1999. – V. 110. – P. 997–1012.
18. Cuevas K. A frequency band analysis of two year olds` memory processes / K. Cuevas, V. Raj, M. A. Bell // *Int. J. Psychophysiol.* – 2012. – V. 83, № 3. – P. 315–322.
19. Marshall P. J. Development of the EEG from 5 months to 4 years of age / P. J. Marshall, Y. Bar-Haim, N. A. Fox // *Clin. Neurophysiol.* – 2002. – V. 113. – P. 1199–1208.
20. Кропотов Ю. Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы мозга человека и нейротерапия / Ю. Д. Кропотов. – Донецк: Издатель Заславский Ю. А., 2010. – 506 с.
21. Королева Н. В. Ведущие показатели зрелости биоэлектрической активности головного мозга у детей в возрасте от 1 до 7 лет / Н. В. Королева, С. А. Небера, И. Н. Гутник // *Физиология человека.* – 2002. – Т. 28, № 6. – С. 57–63.
22. Семенова О. А. Формирование произвольной регуляции деятельности и ее мозговых механизмов в онтогенезе / О. А. Семенова // *Физиология человека.* – 2007. – Т. 33, № 3. – С. 115–127.
23. Marshall P. J. The Bucharest Early Intervention Project core group. A comparison of the electroencephalogram between institutionalized and community children in Romania / P. J. Marshall, N. A. Fox // *J. Cognitive Neurosci.* – 2004. – V. 16, № 8. – P. 1327–1338.
24. Xiao R. Characterization of infant mu rhythm immediately before crawling / R. Xiao, X. Qi, A. Patino [et al.] // *NeuroImage.* – 2016. – V. 146. – P. 47–57.
25. Saltuklaroglu T. EEG mu rhythms: Rich sources of sensorimotor information in speech processing / T. Saltuklaroglu, A. Bowers, A. W. Harkrider [et al.] // *Brain Lang.* – 2018. – V. 187. – P. 41–61.
26. Schneider J. M. Developmental differences in beta and theta power during sentence processing / J. M. Schneider, A. D. Abel, D. A. Ogiela // *Dev Cogn Neurosci.* – 2016. – Vol. 19. – P. 19–30.

EEG FEATURES IN CHILDREN WITH DELAYED SPEECH DEVELOPMENT

Kaida A. I.¹, Mikhailova A. A.¹, Eismont E. V.¹, Orekhova L. S.¹, Shepitko L. S.²

¹V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia

²N. I. Balabana Crimean Republican Clinical Psychiatric Hospital No. 1, Crimea, Russia

E-mail: kaydaanna@gmail.com

The aim of the present study was to identify and analyze the EEG features in children with speech delays. A total of 45 children aged 1–8 years participated in this study. Subsequently, the children were divided into two age groups: 17 children aged 1–3 years (7 children with speech delays (main group) and 10 normally developing children (control group)) and 28 children aged 4–8 years (14 children with speech delays (main group) and 14 normally developing children (control group)). The EEG parameters were recorded, processed, and analyzed according to the standard technique using an automatic complex consisting of an electroencephalograph (Neuron Spectrum-5) and a personal computer. The EEG was recorded in a state of motor rest; the children were asked to relax for 30 s with eyes opened. The values of the EEG relative power were measured in the following frequency ranges: theta- (4–7 Hz), alpha- (8–13 Hz) and beta-rhythms (14–20 Hz). The differences in the EEG rhythms power were analyzed under the electrodes Fz, F3, F4, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4, and O1, O2. In children aged 1–3 years with speech delays, a greater EEG relative power of the theta rhythm in the frontal and occipital leads was revealed compared to normally developing peers. Moreover, under this condition a lower relative power of the EEG alpha-rhythm at the lead Cz and the beta-rhythm at the lead F4 was found. In the group of children aged 4–8 years with speech delays, a lower relative power of the EEG alpha-rhythm in leads Pz and O2 was also revealed. For children aged 4–8 years with speech delays, there were no statistically significant differences in the beta-rhythm relative power compared with normally developing children.

Keywords: electroencephalogram, relative power, theta-rhythm, alpha-rhythm, beta-rhythm, children.

References

1. Zavadenko N. N., Suvorinova N. YU. and Romyanceva M. V., The difficulties at school: hyperactive disorder with attention deficit and dyslexia, *Pediatrics* (Annex to Consilium medicum), **8(2)**, 47 (2006).
2. Bezrukih M. M. and Kreshchenko O. YU., Features of speech development and the difficulty of learning to write and read in students of the 1st and 3rd grades, *New research*, **1**, 68 (2003).
3. Sokolova L. V. and Yemelianova T. V., Functional Maturity of Brain Structures in Children Aged 7–8 with Differing Levels of Speech Development, *The Spanish Journal of Psychology*, **14(1)**, 509 (2011).
4. Leonard L. B. *Children with specific language impairment* (2nd ed.), 472 p. (Cambridge, MA: The MIT press, 2014).
5. Spaulding T. J., Plante E., and Vance R., Sustained selective attention skills of preschool children with specific language impairment: Evidence for separate attentional capacities, *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, **51**, 16 (2008).

6. Markovska-Simoska S. and Pop-Jordanova N., Quantitative EEG in children and adults with Attention Deficit Hyperactivity disorder: Comparison of absolute and relative power spectra and theta/beta ratio, *Clin EEG Neurosci.*, **48(1)**, 20 (2017).
7. Clarke A. R., Barry R. J., Johnstone S. J., McCarthy R. and Selikowitz M., EEG development in Attention Deficit Hyperactivity Disorder: From child to adult, *Clin Neurophysiol.*, **130(8)**, 1256 (2019).
8. Vugs B., Hendriks M., Cuperus J. and Verhoeven L., Working memory performance and executive function behaviors in young children with SLI, *Research in Developmental Disabilities*, **35**, 62 (2014).
9. Paul R. and Norbury C., Assessment of developing language, in: lang. disord. from Infancy through adolesc. List. Speak. Reading, writing, commun., *Elsevier Health Sciences*, 286 (2012).
10. Levy-Rueff M., Bourgeois M., Assous A., Beauquier-Maccota B., Boucheron E., Clouard C., Donde S., Fostini O., Pinot P., Mosser A., Rittori G., Soufflet C., Vaivre-Douret L., Golse B. and Robel L., Abnormal electroencephalography results and specific language impairment: towards a theoretical neurodevelopmental model?, *Encephale.*, **38(4)**, 318 (2012).
11. Chutko L. S., Surushkina S. Yu., Yakovenko E. A., Sergeev A. V., Rozhkova A. V., Anosova I. V. and Chistyakova N. P., Clinical and electroencephalographic characteristics of specific language impairment in children and an evaluation of the efficacy of cerebrolysin, *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova*, **115(7)**, 98 (2015).
12. Cantiani C., Riva V., Piazza C., Bettoni R., Molteni M., Choudhury N., Marino C. and Benasich A. A., Auditory discrimination predicts linguistic outcome in Italian infants with and without familial risk for language learning impairment, *Dev Cogn Neurosci.*, **20**, 23 (2016).
13. Kwok E. Y. L., Cardy J. O., Allman B. L., Allen P. and Herrmann B., Dynamics of spontaneous alpha activity correlate with language ability in young children, *Behavioural Brain Research*, **359(1)**, 56 (2019).
14. Pijnacker J., Davids N., van Weerdenburg M., Verhoeven L., Knoors H. and van Alphen P., Semantic processing of sentences in preschoolers with specific language impairment: Evidence from the N400 effect, *J Speech Lang Hear Res*, **60(3)**, 627 (2017).
15. Schiavone G., Linkenkaer-Hansen K., Maurits N. M., Plakas A., Maassen B. A., Mansvelde H. D., van der Leij A., and van Zuijlen T. L., Preliteracy signatures of poor-reading abilities in resting-state EEG, *Front Hum Neurosci.*, **19(8)**, 735 (2014).
16. Maguire M. J. and Abel A. D., What changes in neural oscillations can reveal about developmental cognitive neuroscience: language development as a case in point, *Dev Cogn Neurosci.*, **6**, 125 (2013).
17. Stroganova T. A., Orekhova E. V. and Posikera I. N. EEG alpha rhythm in infants, *Clin. Neurophysiol.*, **110**, 997 (1999).
18. Cuevas K., Raj V., and Bell M. A. A frequency band analysis of two year olds` memory processes, *Int. J. Psychophysiol.*, **83(3)**, 315 (2012).
19. Marshall P. J. Development of the EEG from 5 months to 4 years of age, *Clin. Neurophysiol.*, **113**, 1199 (2002).
20. Kropotov Y. D., Quantitative EEG, cognitive evoked potentials of the human brain and neurotherapy, *Donetsk: Publisher Zaslavkiy Y. A.*, 506 (2010)
21. Koroleva N. V., Nebera S. A., Gutnik I. N. Leading indicators of brain bioelectric activity maturity in children aged 1 to 7 years, *Fiziologiya cheloveka*, **28(6)**, 57 (2002).
22. Semenova O. A. The formation of voluntary regulation of activity and its brain mechanisms in ontogenesis, *Fiziologiya cheloveka*, **33(3)**, 115 (2007).
23. Marshall P. J. and Fox N. A. The Bucharest Early Intervention Project core group. A comparison of the electroencephalogram between institutionalized and community children in Romania, *J. Cognitive Neurosci*, **16(8)**, 1327 (2004).
24. Xiao R., Qi X., Patino A., Fagg A. H., Kolobe T. H. A., Miller D. P. and Ding L. Characterization of infant mu rhythm immediately before crawling, *NeuroImage.*, **146**, 47 (2016).
25. Saltuklaroglu T., Bowers A., Harkrider A. W., Casenhiser D., Reilly K. J., Jenson D. E. and Thornton D. EEG mu rhythms: Rich sources of sensorimotor information in speech processing, *Brain Lang.*, **187**, 41 (2018).
26. Schneider J. M., Abel A. D., Ogiela D. A., Middleton A. E. and Maguire M. J., Developmental differences in beta and theta power during sentence processing, *Dev Cogn Neurosci.*, **19**, 19 (2016).