

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

Биология. Химия. Том 3 (69). 2017. № 3. С. 3–10.

**УДК 612.65 : 616-056.216**

## **РЕАКТИВНОСТЬ ТЕТА-РИТМА ЭЭГ ПРИ ВОСПРИЯТИИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ ДЕТЬМИ РАННЕГО ВОЗРАСТА**

*Белалов В. В.<sup>1</sup>, Михайлова А. А.<sup>2</sup>, Житовецкая Ю. О.<sup>1</sup>, Самойлов А. А.<sup>1</sup>,*

*Павленко В. Б.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*

<sup>2</sup>*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*

*E-mail: vadya.bielalov@gmail.com*

Изучали реактивность тета-ритма ЭЭГ при восприятии речи и реверсивного речевого сигнала детьми в возрасте от полутора до трех с половиной лет. Процесс восприятия речи сопровождался разнонаправленным изменением мощности тета-ритма ЭЭГ у детей раннего возраста. При этом реверсивный сигнал вызывал значимый прирост мощности указанного ритма ЭЭГ в более широких корковых регионах. Наиболее выраженные отличия в реактивности тета-ритма ЭЭГ при восприятии речи и реверсивного сигнала наблюдались в лобных, височных и центральных регионах, преимущественно левого полушария. Разница в степени активации структур правого и левого полушарий, отражающаяся в модуляции тета-ритма, в момент восприятия реверсивного сигнала была выше, чем таковая при восприятии речи.

**Ключевые слова:** электроэнцефалограмма, восприятие речи, реверсивная речь, реактивность тета-ритма, дети.

### **ВВЕДЕНИЕ**

У детей раннего возраста тета-ритм является преобладающим ритмом ЭЭГ. Ряд авторов [1, 2] предполагают, что реактивность тета-ритма отражает способность нервной системы к интеграции визуальной, сенсорной и моторной информации о событиях. Мощность тета-ритма ЭЭГ у детей меняется в самых разных поведенческих состояниях: при переживании положительных и отрицательных эмоций [3], при кормлении [3, 4], в состоянии сонливости [3], а также при активном зрительном внимании [5]. Во время выполнения заданий, требующих высокого уровня внимания, мощность тета-ритма у детей раннего возраста увеличивается [6]. Мощность тета-ритма также меняется и при восприятии речи взрослыми испытуемыми, особенно в височных областях обоих полушарий [7, 8]. Данные о реактивности тета-ритма ЭЭГ во время процесса восприятия речи детьми раннего возраста фрагментарны, а так как тета-активность отражает функционирование

когнитивной, речевой и эмоциональной сфер, то ее анализ у детей во время восприятия речевых сигналов представляет особый интерес.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В исследовании приняло участие 54 ребенка в возрасте от полутора до трех с половиной лет. В группу включались дети: а) вес которых при рождении был более двух с половиной килограммов, б) не имеющие генетических заболеваний и заболеваний ЦНС, зарегистрированного фетального алкогольного синдрома, в) рисующие правой рукой. Исследование проводилось на базе лаборатории нейробиологии Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского.

Регистрацию ЭЭГ осуществляли с помощью компьютерного телеметрического электроэнцефалографа «Эксперт» (фирма Тредекс). 16-ти канальную ЭЭГ (полоса пропускания 0,5–74,5 Гц, частота дискретизации 250 Гц) регистрировали монополярно от локусов Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, O1 и O2 в соответствии с международной системой «10-20», программой «EEG Mapping 6», разработанной в лаборатории нейробиологии (программист Е. Н. Зинченко, авторское свидетельство 32317, Компьютерная программа для записи и анализа электроэнцефалограммы с параллельной записью звука). При отведении ЭЭГ использовали 16-канальную детскую электроэнцефалографическую шапочку ШЭУ-16 «Полина» («Тредекс») со встроенным хлорсеребряными электродами. В качестве референтного использовался виртуальный электрод, сигнал которого был равен усредненному по всем отведениям потенциалу (усредненный референт).

Фрагменты ЭЭГ подвергались быстрому преобразованию Фурье с перекрытием 50 % и использованием фильтра Баттерворта (порядок 4) с полосой пропускания 2 – 25 Гц. Применялось сглаживание окном Блэкмена. Нижняя граница частотного диапазона тета-ритма для детей до двух лет составляла 3 Гц, для детей старше двух лет – 4 Гц. Верхняя граница тета-ритма (среднее значение 6,7 Гц) соответствовала нижней границе альфа-ритма, границы которого определялась индивидуально для каждого испытуемого методом наложения спектра мощности ЭЭГ, зарегистрированной в период синхронизации и десинхронизации альфа-активности. Для придания данным выборки нормального характера распределения спектральную плотность мощности подвергали логарифмированию ( $\ln \text{ мкВ}^2/\text{Гц}$ ).

ЭЭГ регистрировали в трех экспериментальных ситуациях: в состоянии относительного покоя с открытыми глазами, при восприятии речи (стихотворение понятного для ребенка содержания) и при восприятии реверсивного сигнала (исходное стихотворение, проигранное в реверсном режиме). Отметим, что реверсивный сигнал, хоть и обладает всеми акустическими характеристиками, представленными в речи, лишен как семантической, так и просодической составляющих.

Индекс реактивности (ИР) вычисляли как отношение изменений спектральной плотности мощности (СПМ) ритмов ЭЭГ при восприятии речевого стимула к показателям в условиях относительного покоя:

$$ИР = (\text{Сигнал} - \text{Фон}) \times 100 \% / \text{Фон},$$

где Фон – СПМ тета-ритма ЭЭГ в условии относительного покоя, Сигнал – СПМ тета-ритма при восприятии речи либо реверсивного сигнала. Положительные значения ИР соответствуют увеличению мощности, отрицательные – снижению.

Для исследования влияния основного фактора «Сигнал» (речь, реверсивная речь) и интрасубъективных факторов «Полушарие» (Левое, Правое) и «Локус» (F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4) на реактивность тета-ритма ЭЭГ применяли дисперсионный анализ с повторными измерениями (Repeated measures ANOVA). Для выявления значимости отличий в показателях реактивности в границах одного локуса использовали апостериорный (post-hoc) критерий Тьюки. Значимыми считали влияния при  $P < 0,05$ .

Настоящая работа выполнена при поддержке программы развития Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» на 2015–2024 годы в рамках реализации академической мобильности по проекту ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» «Сеть академической мобильности «Академическая мобильность молодых ученых России – АММУР» в Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Дисперсионный анализ (ANOVA) показал значимость взаимного влияния основного фактора «Сигнал (речь)» и интрасубъективного «локус» на мощность тета-ритма ЭЭГ, которое составило  $F(11, 1210) = 24,252$  при  $P = 0,004$ . Величина влияния взаимодействия факторов «Сигнал (реверсивный сигнал)»\*«Локус» на мощность тета-ритма ЭЭГ у детей из семей составила:  $F(11, 1210) = 15,050$ ,  $P = 0,008$  (Рис. 1).

Восприятие речи вызывало значимые разнонаправленные изменения мощности тета-ритма ЭЭГ преимущественно в затылочных отведениях. При восприятии реверсивной речи в большом количестве исследуемых отведений (семи из 12) наблюдались однонаправленные изменения – увеличение мощности тета-ритма ЭЭГ.

Применение дисперсионного (ANOVA) анализа с повторными измерениями, показало значимое влияние взаимодействия основного фактора «Сигнал» и интрасубъективного «Полушарие» на реактивность тета-ритма ЭЭГ при восприятии речевых стимулов, которое составило:  $F(1, 106) = 17,725$ ,  $P < 0,001$  (Рис. 2).

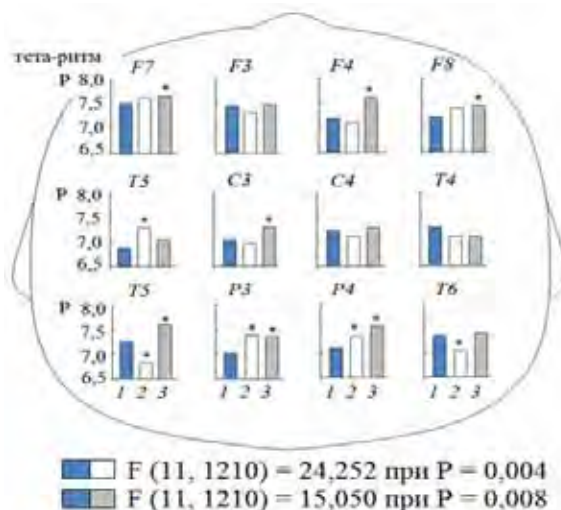


Рис. 1. Мощность (P) тета-ритма ЭЭГ при восприятии речевых стимулов по сравнению с показателями в состоянии относительного покоя. По горизонтали указаны экспериментальные ситуации, в которых происходила регистрация ЭЭГ: 1 – состояние относительного покоя, 2 – восприятие речи (белые столбцы), 3 – восприятие реверсивного сигнала (серые столбцы). По вертикали – значение мощности ( $\ln \mu\text{V}^2/\text{Гц}$ ). \* – различия в показателях мощности, выявленные апостериорным (post-hoc) критерием Тьюки, при  $P < 0,05$ .



Рис. 2. Индекс реактивности (ИР) тета-ритма ЭЭГ при восприятии речевых стимулов в правом и левом полушариях. \* – значимость совместного влияния факторов «Сигнал» и «Полушарие» при  $P < 0,05$ .



анализ просодических особенностей речевого потока относят к функциям зон правого полушария, гомологичным центрам речи левого [22]. Вероятно, большее увеличение мощности тета-ритма в правом полушарии связано с другим просодическим составом реверсивной речи, и ребенок сильнее активизирует внимание, пытаясь разобрать границы слов. Вопрос асимметрии реактивности тета-ритма при восприятии речевых стимулов у детей раннего возраста остается недостаточно изученным и требует дальнейших исследований.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Процесс восприятия речи сопровождается разнонаправленным изменением мощности тета-ритма ЭЭГ у детей раннего возраста. Реверсивный сигнал вызывает больший прирост мощности указанного ритма ЭЭГ в широких корковых регионах.
2. Наиболее выраженные отличия в реактивности тета-ритма ЭЭГ при восприятии речи и реверсивного сигнала наблюдаются в лобных, височных и центральных регионах преимущественно левого полушария.
3. Разница в степени активации структур правого и левого полушарий, отражающаяся в модуляции тета-ритма, в момент восприятия реверсивного сигнала выше, чем таковая при восприятии речи.

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

### **Список литературы**

1. Bazhenova O. V. Physiological responses of 5-month-old infants to smiling and blank faces / O. V. Bazhenova, T. A. Stroganova, J. A. Doussard-Roosevelt [et al.] // Int J Psychophysiol. – 2007. – V. 63. – P. 64–76.
2. Del Giudice M. Programmed to learn? The ontogeny of mirror neurons / M. Del Giudice, V. Manera, C. Keyers // Dev Sci. – 2009. – V. 12 – P. 350–363.
3. Futagi Y. Theta rhythms associated with sucking, crying, gazing and handling in infants / Y. Futagi, T. Ishihara, K. Tsuda [et al.] // ElectroencephalogrClinNeurophysiol. – 1998. – V. 106. – P. 392–399.
4. Lehtonen J. The effects of feeding on the electroencephalogram in 3- and 6-month-old infants / J. Lehtonen, M. Könönen, M. Purhonen // Psychophysiology. – 2002. – V. 39. – P. 73–79.
5. Orekhova E. V. EEG theta rhythm in infants and preschool children / E. V. Orekhova, T. A. Stroganova, I. N. Posikera [et al.] // Clin. Neurophysiol. – 2006. – V. 117, № 5 – P. 1047–1062.
6. Clarke A. R. EEG evidence for a new conceptualisation of attention deficit hyperactivity disorder / A. R. Clarke, R. J. Barry, R. McCarthy [et al.] // ClinNeurophysiol. – 2002. – V. 113(7). – P. 1036–44.
7. Doelling K. B. Acoustic landmarks drive delta-theta oscillations to enable speech comprehension by facilitating perceptual parsing / K. B. Doelling, L. H. Arnal, O. Ghitza [et al.] // Neuroimage. – 2014. – V. 15. – P. 761–8.
8. Hyafil A. Speech encoding by coupled cortical theta and gamma oscillations / A. Hyafil, L. Fontolan, C. Kabdebon // Elife. – 2015. – V. 4. – P. 123–34.
9. Brown E. Evaluating reverse speech as a control task with language-related gamma activity on electrocorticography / E. C. Brown, O. Muzik, R. Rothermel // Neuroimage. – 2012. – V. 60. – P. 2335–2345.
10. Hermes D. Stimulus Dependence of Gamma Oscillations in Human Visual Cortex / D. Hermes, K. J. Miller, B. A. Wandell // Cereb Cortex. – 2015. – V. 25(9). – P. 2951–9.
11. 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. Neurophysiology. – 2002. – Vol. 113(8).– P. 1199–1208.

12. Greenough W. T. Experience and brain development / W. T. Greenough, J. E. Black, C. S. Wallace // Child Devel. – 1987. – V. 58. – P. 539–559.
13. Nikonenko I. Presynaptic Remodeling Contributes to Activity-Dependent Synaptogenesis / I. Nikonenko, J. Muller // Journal of Neuroscience. – V. 23(24). – P. 8498–8505.
14. Stroganova T. A. Externally and internally controlled attention in infants: an EEG study / T. A. Stroganova, E. V. Orekhova, I. N. Posikera // Int. J. Psychophysiol. – 1998. – V. 30, № 3. – P. 339–351.
15. Khader P. H. Theta and alpha oscillations during working-memory maintenance predict successful long-term memory encoding / P. H. Khader, K. Jost, C. Ranganath [et al.] // Neurosci Lett. – 2010. – V. 468. – P. 339–343.
16. Sauseng P. Control mechanisms in working memory: a possible function of EEG theta oscillations. / P. Sauseng, B. Griesmayr, R. Freunberger [et al.] // NeurosciBiobehav Rev. – 2010. – V. 34 – P. 1015–1022.
17. Klimesch W. Theta band power in the human scalp EEG and the encoding of new information / W. Klimesch, M. Doppelmayr, H. Russegger // Neuroreport. – 1996. – V. 7. – P. 1235–1240.
18. Laufs H. Where the BOLD signal goes when alpha EEG leaves / H. Laufs, J. L. Holt // Neuroimage. – 2006. – Vol. 31(4). – P. 1408–1418.
19. Спрингер С. Левый мозг, правый мозг. Асимметрия мозга / Спрингер С., Дейч Г. // М.: Мир, 1983. – 256 с.
20. Geschwind N. The biology of cerebral dominance: implications for cognition / N. Geschwind // Cognition. – 1984. – V. 17(3). – P. 193–208.
21. Ding N. Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech. / N. Ding, L. Melloni, H. Zhang [et al.] // Nat Neurosci. – 2016. – V. 19(1). – P. 158–164.
22. Thierry G. Hemispheric dissociation in access to the human semantic system / G. Thierry, A. L. Giraud, C. Price // Neuron. – 2003. – V. 38(3). – P. 499–506.

## TETA-RHYTHM REACTIVITY DURING PERCEPTION OF SPEECH SIGNALS BY CHILDREN OF EARLY AGE

**Belalov V. V., Mikhailova A. A., Zhitovetskaya Yu. O., Samoilov A. A., Pavlenko V. B.**

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

The reactivity of the theta rhythm of the EEG was studied in the perception of speech and reversed speech signal by children aged one and a half to three and a half years. The lower limit of the frequency range of the theta rhythm for children under two years was 3 Hz hertz, for children older than 2 years – 4 Hz. The upper limit of the theta rhythm (average value of 6.7 Hz) corresponded to the lower boundary of the alpha rhythm, the boundaries of which were determined individually for each subject by applying the EEG power spectrum overlay recorded during synchronization and desynchronization of alpha-activity. The EEG was recorded in three experimental situations: in a state of relative rest with open eyes, in the perception of speech (a poem that is understandable to the child of the content) and in the perception of a reversed signal (the original poem in the reverse mode). Note that the reversed signal, although it has all the acoustic characteristics presented in the speech, is devoid of both semantic and prosodic components. For statistical processing, the repeated ANOVA measures were used. The process of perception of speech was accompanied by a multidirectional change in the power of theta-rhythm of the EEG in young children. At the same time, the reversed signal caused a significant increase in the power of this EEG rhythm in wider cortical regions. The most pronounced differences in the reactivity of the theta

rhythm of the EEG in the perception of speech and the reversible signal were observed in the frontal, temporal and central regions, mainly the left hemisphere. The difference in the degree of activation of the structures of the right and left hemispheres, reflected in the modulation of the theta-rhythm, at the time of perception of the reversed signal was higher than that of perception of speech.

**Keywords:** electroencephalogram (EEG), speech perception, theta-rhythm, reversed speech, infants.

## References

1. Bazhenova O. V., Stroganova T. A., Doussard-Roosevelt J. A., Posikera I. A., Porges S. W. Physiological responses of 5-month-old infants to smiling and blank faces *Int J Psychophysiol.* **63**, 64 (2007).
2. Del Giudice M., Manera V., Keyser C. Programmed to learn? The ontogeny of mirror neurons *Dev Sci.* **12**, 350 (2009).
3. Futagi Y., Ishihara T., Tsuda K. [et al.] Theta rhythms associated with sucking, crying, gazing and handling in infants *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* **106** 392 (1998).
4. Lehtonen J., Könönen M., Purhonen M. [et al.] The effects of feeding on the electroencephalogram in 3- and 6-month-old infants *Psychophysiology.* **39**, 73 (2002).
5. Orekhova E. V., Stroganova T. A., Posikera I. N. [et al.] EEG theta rhythm in infants and preschool children *Clin. Neurophysiol.* **5**, 1047 (2006).
6. Clarke A. R., Barry R. J., McCarthy R. [et al.] EEG evidence for a new conceptualisation of attention deficit hyperactivity disorder *Clin Neurophysiol.* **113**, 1036 (2002).
7. Doelling K. B., Arnal L. H., Ghitza O. [et al.] Acoustic landmarks drive delta-theta oscillations to enable speech comprehension by facilitating perceptual parsing *Neuroimage.* **15**, 761 (2014).
8. Hyafil A., Fontolan L., Kabdebon C. [et al.] Speech encoding by coupled cortical theta and gamma oscillations. *Elife.* **4**, 123 (2015).
9. Brown E. C., Muzik O., Rothermel R. Evaluating reverse speech as a control task with language-related gamma activity on electrocorticography. *Neuroimage.* **60**, 2335 (2015).
10. Hermes D., Miller K. J., Wandell B. A. [et al.] Stimulus Dependence of Gamma Oscillations in Human Visual Cortex. *Cereb Cortex.* **25**, 2951 (2014).
11. Marshall P. J., Bar-Haim Y., Fox N. A. Development of the EEG from 5 months to 4 years of age. *Clin. Neurophysiology.* **113**(8), 1199 (2002).
12. Greenough W. T., Black J. E., Wallace C. S. Experience and brain development *Child Devel.* **58**, 539 (1987).
13. Nikonenko I., Muller J. Presynaptic Remodeling Contributes to Activity-Dependent Synaptogenesis. *Journal of Neuroscience.* **23**(24), 8498 (2011).
14. Stroganova T. A., Orekhova E. V., Posikera I. N. Externally and internally controlled attention in infants: an EEG study. *Int. J. Psychophysiol.* **30**(3), 339 (1998).
15. Khader P. H., Jost K., Ranganath C. [et al.] Theta and alpha oscillations during working-memory maintenance predict successful long-term memory encoding. *Neurosci Lett.* **468**, 339 (2010).
16. Sauseng P., Griesmayr B., Freunberger R. [et al.] Control mechanisms in working memory: a possible function of EEG theta oscillations. *Neurosci Biobehav Rev.* **34**, 1015 (2010).
17. Klimesch W., Doppelmayr M., Russegger H., [et al.,] Theta band power in the human scalp EEG and the encoding of new information. *Neuroreport.* **7**, 1235 (1996).
18. Laufs H., Holt J. L. Where the BOLD signal goes when alpha EEG leaves *Neuroimage* **31**(4), 1408 (2006).
19. Springer S., Dech G. Left brain right brain. Asymmetry of neocortex. *M.: Mir.* 256 (1983).
20. Geschwind N. The biology of cerebral dominance: implications for cognition *Cognition.* **17**(3), 193 (1984).
21. Ding N., Melloni L., Zhang H. [et al.] Cortical tracking of hierarchical linguistic structures in connected speech. *Nat Neurosci.* **19**(1), 158 (2016).
22. Thierry G., Giraud A. L., Price C. Hemispheric dissociation in access to the human semantic system. *Neuron.* **38**(3), 499 (2003).