

УДК 159.91

В статье рассматривается процесс изменения спектральных и амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ в процессе осознания смысла визуально предъявляемых текстов взрослыми испытуемыми (N = 148). Была разработана оригинальная технология предъявления текстов, позволяющая «уловить» психофизиологические маркеры осознания и выделить этапы во временной последовательности процесса осознания. Полученные данные были подвергнуты спектральному анализу. Показано, что этап «осознание» характеризуется всплеском биоэлектрической активности в тета-диапазоне, в то время как этапы «до осознания» и «после осознания» характеризуются преимущественной активацией в высокочастотном гамма диапазоне. Результаты исследования позволяют объединить противоречивые данные о роли высоко- и низкочастотной биоэлектрической активности мозга в процессе осознания смысла вербальной информации.

**Ключевые слова:** осознание смысла текстов; ЭЭГ; психосемантика; тета-активность; гамма-активность.

The present paper investigates the dynamics of changes in the spectral and amplitude-frequency characteristics of EEG in the process of getting understanding of contents of visually shown texts by adult subjects (n = 148). There has been developed an original technology of step-by-step presentation of texts. This technology allows “to catch” a psycho-physiological markers of understanding and identifying stages of a temporal sequence of the process of understanding. EEG data were analyzed using spectral methods. It was found, that a stage «understanding» is characterized by a surge of bioelectrical activity in the theta range; while stages of «before understanding» and «after understanding» are characterized by a preferential activation in high-frequency gamma range. The results of the study allow to combine conflicting data of the role of high- and low-frequency bioelectrical activity of the brain in the process of understanding of the meaning of verbal information.

**Key words:** understanding of the meaning of texts; EEG; psychosemantics; theta rhythm; gamma rhythm.

**Л. О. Ткачева**

*Санкт-Петербургский Государственный Университет  
E-mail: tkachewa.luba@gmail.com*

## **Изменение спектральных и амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ в процессе осознания смысла текстов\***

Научная статья

**L. O. Tkacheva**

*Sankt-Petersburg State University  
E-mail: tkachewa.luba@gmail.com*

## **Change of Spectral and Amplitude-Frequency Characteristics of EEG in the Process of Understanding Contents of Texts**

Scientific article

Условно ритмы ЭЭГ принято разделять на низкочастотные (дельта, тета, альфа) и высокочастотные диапазоны (бета 1,2 и гамма). Низкочастотные диапазоны в большей мере связывают с базовыми психическими процессами мотивации, эмоциональных переживаний и внимания, особенно состояния готовности и бдительности [1, с. 53–55; 2; 3], а высокочастотные бета и гамма – с более сложными когнитивными процессами, в которых отдельные характеристики стимулов требуется связать в единое целое [4–6]. Эффект

повышения мощности высокочастотных ритмов в процессе осознания информации регистрировался в различных экспериментальных условиях при моделировании ситуации решения креативных заданий [7, с. 72–76; 8–11]. Многие исследователи отмечают, что усиление гамма-ритма возникает при работе с семантической информацией [4; 12]. В исследовании мозговой активности, сопровождающей поиск отдаленных вербальных ассоциаций с помощью инсайта или неинсайтной стратегии, обнаружилось, что состояние инсайта

\* Статья написана при поддержке гранта РГНФ № 13-06-00637.

© Ткачева Л. О., 2015

характеризуется деактивацией коры по показателям мощности биопотенциалов в альфа-диапазоне и в то же время активацией правой передней височной коры по изменениям мощности гамма-колебаний [11]. Похожие данные о связи креативности и творческого мышления с эффектами повышения нейронной активности в бета и гамма диапазонах были получены и в ряде других исследований [7–8; 13; 9].

В то же время есть результаты исследований, свидетельствующие в пользу того, что процесс осознания сопровождается синхронизацией биоэлектрической активности в рамках низкочастотных диапазонов [14; 15, с. 174–185; 16]. Было показано, что нейроны гиппокампа реагируют на новизну сенсорных стимулов [17, с. 215–235] и что гиппокампальный тета-ритм играет решающую роль в обработке новой сенсорной информации и избирательного внимания на начальных стадиях формирования сложных форм долговременной памяти [18]. Было обнаружено, что в гиппокампе есть отдельные нейронные популяции, реагирующие на правильное и ошибочное выполнение деятельности. Феномен получил название детектора ошибок [19, с. 29, 114]. На сегодняшний день многими исследователями подтверждены данные о роли гиппокампа в процессе консолидации следов памяти и его роли в качестве селективного входного фильтра [20–23]. Высказывается предположение, что поздние низкочастотные компоненты в составе ВП при исследовании процесса осознания отражают либо степень субъективной уверенности испытуемого в правильности принятого решения, либо, наоборот, являются показателем неосознаваемого последствия принятия решений [24].

Мы предположили, что процесс осознания протекает поэтапно. На одних этапах этого процесса наблюдается активация биоэлектрической активности в диапазонах высокочастотной ритмики, на других – регистрируется низкочастотная ритмика. Мы задались целью исследовать динамику изменения спектральных и амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ в процессе осознания смысла коротких драматических текстов, предъявляемых визуально.

**Методика.** Для определения сюжетных линий и отбора текстов для эксперимента были проведены 2 экспертизы. Процедура первой экспертизы проходила следующим образом: экспертам

выдавались бланки, на которых были напечатаны и подробно описаны 36 драматических сюжетов [25, с. 51–53] с инструкцией – оценить степень присутствия или повторяемости каждого из этих сюжетов в собственной жизни и выразить это количественно в десятибалльной шкале. По результатам факторного анализа из исходных 36 драматических сюжетов были получены пять сюжетных линий: 1) адультер; 2) интеллектуальные достижения; 3) возмутительная несправедливость; 4) самопожертвование; 5) угроза близким. Следующий этап экспертизы состоял в том, чтобы отобрать законченные по смыслу короткие тексты по полученным сюжетным линиям. Мы выбрали басни Эзопа и мифы Древней Греции, поскольку, они, на наш взгляд, наиболее точно соответствуют критериям отбора стимульного материала для эксперимента – полученным сюжетным линиям и необходимости использовать небольшой по объему текст с законченным смыслом. Экспертам было предложено последовательно ознакомиться с 21 басней или мифом и отнести каждую из историй к одному из пяти выявленных на предыдущем этапе сюжетов, поставив рядом соответствующий сюжету номер. По результатам обработки данных экспертных оценок из 21 предложенного для экспертизы текста были отобраны семь, из них 6 – те, в отношении сюжета которых мнения экспертов сходились в наибольшей степени, и седьмой текст – с равновероятно неясным сюжетом – был включен в экспериментальный план с целью выявить доминирующую направленность испытуемых. Для возможности «поймать» момент осознания была разработана технология поэтапного предъявления текстов. Валидность этой технологии была подтверждена благодаря обнаруженным корреляционным связям между основными параметрами методики «Лексическое решение» [26] и скоростью осознания типа сюжета в эксперименте.

В заключительном психофизиологическом эксперименте приняли участие 148 человек (возраст 18–30, 103 женщины, 45 мужчин). Условия последовательности и очередности прохождения экспериментальных заданий были одинаковы для всех испытуемых. Electroды фиксировались по принятой международной системе 10 – 20 с 19 активными отведениями. После фоновых ЭЭГ замеров испытуемому последовательно предъявлялись 7 текстов, по 8 предъявлений каждый; затем

вновь шли фоновые ЭЭГ замеры при закрытых и открытых глазах длительностью по минуте.

**Обработка данных.** Визуализация полученных данных (в виде корреляционных плеяд и визуализации скальпового распределения в параметрах ЭЭГ) производилась с помощью программного обеспечения, разработанного в лаборатории психофизиологии кафедры медицинской психологии СПбГУ.

Для определения соотношения различных ритмических составляющих в ЭЭГ обработка полученных электрофизиологических данных проводилась по стандартной схеме – выявление спектральных мощностей (преобразование Фурье) в программе WinEEG. В результате этого преобразования ЭЭГ данные представляются в виде суммарных мощностей по основным спектральным диапазонам: дельта, тета, альфа, бета-1, бета-2 и гамма. Для спектрального анализа выбирали 15-секундные безартефактные эпохи, взятые на стадиях «до осознания», «осознание» «после осознания». Для состояния «осознание» брали участок ЭЭГ от начала первого предъявления текущего фрагмента текста до нажатия испытуемым клавиши, определяющий тип сюжета, но не менее 4 с. В программе WinEEG анализируемые участки делились на фрагменты по 4 с с перекрытием по времени на 50 %. Были вычислены средние значения спектральной мощности.

**Результаты исследования.** Для оценки степени влияния факторов состояний («до осознания», «осознание», «после осознания») на значения мощности основных ритмов по 19 отведениям проводился дисперсионный анализ (ANOVA).

Результаты отличий по тета-диапазону представлены на рис. 1, в котором треугольниками, направленными вверх, обозначены значимые

на разных уровнях отличия, соответствующие увеличению мощности в первом состоянии, отраженном в легенде, относительно второго.

Увеличение мощности второго состояния относительно первого отражено треугольником, вершина которого направлена вниз. Величина и яркость треугольника отражает степень значимости выявленного отличия. Из рисунка видно, что изменения происходят в основном во фронтальных отделах мозга с незначительным смещением в правое полушарие. Мощность в тета-диапазоне достигает максимальных значений в «момент осознания».

Рис. 2 отражает изменения мощности в гамма-диапазоне. Увеличение мощности «после осознания» фиксируется практически во всех отведениях с некоторым смещением в правое полушарие. В «момент осознания» также наблюдается увеличение мощности в гамма-диапазоне по отношению к состоянию «до осознания».

На рис. 3 отражены изменения амплитудно-частотной характеристики ЭЭГ в 19 отведениях в трех состояниях.

Основные отклонения амплитудных характеристик ЭЭГ регистрируются в состоянии «до осознания» по отношению к состоянию «осознание». В «момент осознания» наблюдается увеличение амплитудных характеристик в передних отделах мозга, ближе к конфекситальной области. В состоянии «после осознания» происходят очень незначительные изменения по отношению к состоянию «до осознания», которые отражаются в изменениях амплитудных характеристик в лобных отделах. Такие изменения могут быть связаны с большим увеличением амплитуды низкочастотных составляющих ЭЭГ в момент осознания, о которых говорилось выше.

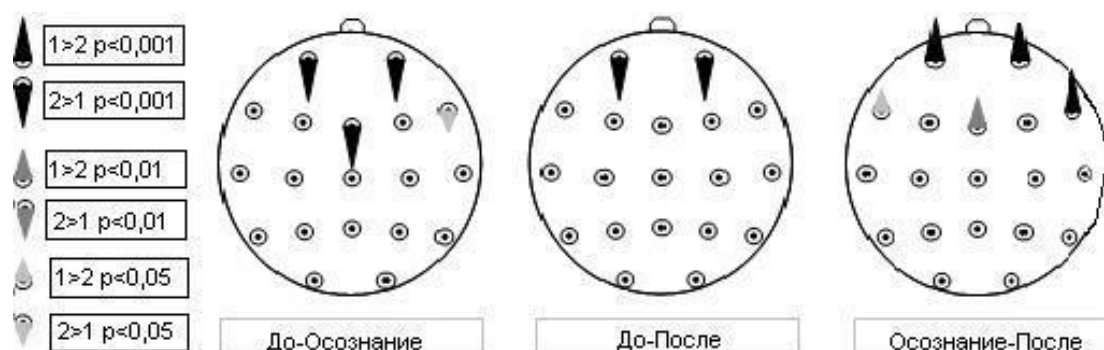


Рис. 1. Изменения мощности спектра ЭЭГ в тета-диапазоне в трех парах состояний

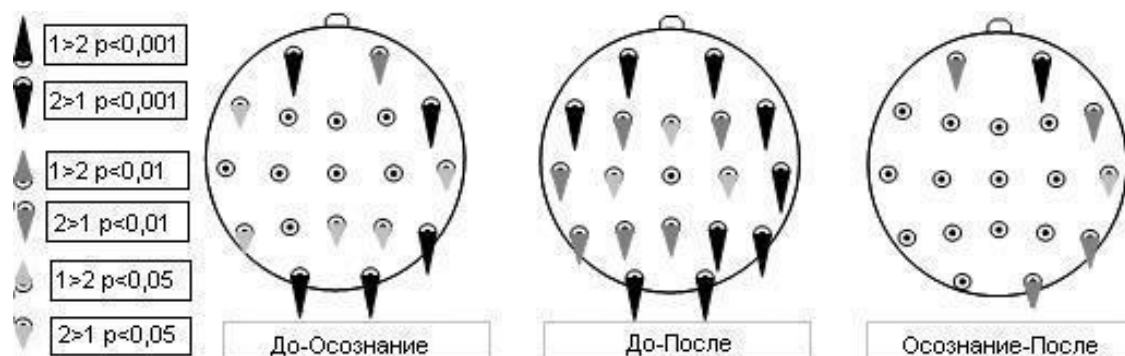


Рис. 2. Изменения мощности спектра ЭЭГ в гамма-диапазоне в трех парах состояний

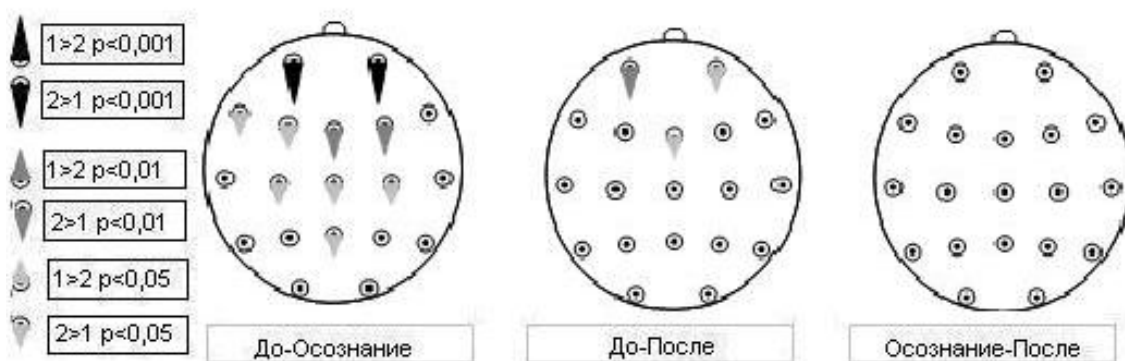


Рис. 3. Изменения амплитудно-частотной характеристики ЭЭГ в трех парах состояний

Резюмируя вышеописанные изменения, можно отметить четкую тенденцию, заключающуюся в значимом увеличении мощности медленных ритмов в тета-диапазоне в момент осознания смысла текста, и нарастание мощности в гамма-диапазоне по мере осознания смысла текста.

**Обсуждение результатов.** На этапе «до осознания» происходит «информационная накачка», что приводит к повышению мощности высокочастотных ритмов в гамма-диапазоне. При этом на начальных этапах «информационной накачки» количество доступной восприятию информации не связано с уровнем определенности, поскольку с нарастанием информационного потока уровень ясности все еще остается смутным. Повышение гамма-активности на этапе «после осознания», по-видимому, связано с ситуацией сомнения в правильности собственного решения и возобновлением процесса поиска альтернатив. Это соотносится с результатами исследований, в которых высокочастотные осцилляции бета- и гамма-частот рассматриваются как корреляты корковых

связей, возникающих при восприятии разнообразных характеристик полимодальных стимулов [27–28; 29, с. 57–60, 77–84]. Скорее всего, без таких связей процесс осознания будет затруднен, а поиск нового нестандартного решения поставленной проблемы практически невозможен.

В «момент осознания» регистрируется всплеск тета-активности. По всей видимости, это может быть связано с жесткостью семантических связей: в процессе «информационной накачки», когда воспринимаются все новые слова, происходит фиксация возникающих ассоциативных связей. Вероятно, способность осознать смысл текста, т. е. отнести его к одному из возможных сюжетов, достигается за счет повышения прочности семантических связей, что сопровождается повышением активации в тета-диапазоне. В пользу такого предположения свидетельствуют данные исследований изменений длиннодистантных связей на уровне тета-частот, интерпретируемые как показатель интеграции деятельности отдаленных нейронных ансамблей [6; 10].

Таким образом, в рамках описания психофизиологических показателей процесса осознания смысла вербальной информации можно предположить существование двух основных подсистем. Первая из них – подсистема, реализующая свою работу на уровне высокочастотных составляющих ЭЭГ. Она оперирует объемом предъявленной информации для увеличения степени ясности в отношении этой информации. Работа данной подсистемы наиболее очевидна на этапе, обозначенном в эксперименте как «до осознания», характеризующемся постоянным увеличением количества информации, доступной восприятию испытуемого. Работа второй подсистемы реализуется на уровне низкочастотных составляющих ЭЭГ. В момент, когда достигается пороговое значение ясности и испытуемый осознает тип сюжета, появляется тета-ритм. Возможно, именно благодаря всплеску тета-ритма происходит кристаллизация опыта в рамках семантических связей, достижение достаточного уровня ясности, чтобы случилось осознание. Можно предположить, что любой процесс последовательного осознания связан с чередующимися фазами увеличения объема и кристаллизации смысла информации. Это предположения согласуется с идеями В. Ф. Петренко, полагающего, что уровень осознания – это закрепление семантических связей. Чем больше присутствует наличных семантических связей, тем больше информации доступно для осознания [30].

**Выводы.** Процесс осознания смысла визуально предъявляемых текстов протекает поэтапно. Описывая психофизиологические показатели этого процесса, можно выделить две подсистемы. Одна – реализует свою активность на уровне высокочастотного гамма-диапазона, обеспечивая процесс выбора решения из нескольких альтернатив и проверку правильности выбора. Вторая – представлена на уровне низкочастотного тета-диапазона. Она активизируется в момент осознания. По-видимому, ее биологическая функция состоит в консолидации информации в рамках семантических связей.

#### Ссылки

1. Афтанас Л. И. Эмоциональное пространство человека: психофизиологический анализ. Новосибирск: СО РАМН, 2000. 126 с.
2. Basar E., Basar-Eroglu C., Karakas S. M., Scurmann M. Brain oscillations in perception and memory // *Psychophysiol.* 2000. № 35. P. 95–124.
3. Knyazev G. G. Motivation emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations // *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2007. Vol. 31, № 3. P. 377–395.
4. Lutzenberger W., Pulvermuller F., Btibaumei N. Words and pseudowords elicit distinct patterns of 30-Hz EEG responses in human // *Neurosci.* 1994. Vol. 176, № 1. P. 115–118.
5. Weiss S., Rappelsberger P. EEG coherence within the 13-18 Hz band as a correlate of a distinct lexical organization of concrete and abstract nouns in humans // *Neurosci.* 1996. Vol. 209. P. 17–20.
6. Von Stein A., Samthein J. Different frequencies for different scales of cortical integration: from local gamma to long range alpha/theta synchronization // *Psychophysiol.* 2000. Vol. 38. P. 301–313.
7. Разумникова О. М. Мышление и функциональная асимметрия мозга. Новосибирск: СО РАМН, 2004. 272 с.
8. Шемякина Н. В., Данько С. Г. Изменения мощности и когерентности альфа диапазона ЭЭГ при выполнении творческих заданий с использованием эмоционально-значимых и эмоционально-нейтральных слов // *Физиология человека.* 2007. Т. 33, № 1. С. 20–27.
9. Jausovec N., Jausovec K. EEG activity during the performance of complex mental problems // *Psychophysiol.* 2000. Vol. 36. P. 73–88.
10. Petsche H., Etlinger S. C. EEG aspects of cognitive processes: A contribution to the proteus-like nature of consciousness // *International Journal of psychology.* 1998. Vol. 33, № 3. P. 199–212.
11. Jung-Beeman M., Bowden E. M., Habeimann, Frymire J. L., Arambel-Liu S., Gieenblatt R., Reber P. J., Konnios J. Neural activity when people solve verbal problems with insight // *PLoS Biology.* 2004. Vol. 2. P. 500–510.
12. Pulvermuller F., Preissl H., Lutzenberger W., and Birbaumer N. Spectral responses in the gamma-band: physiological signs of higher cognitive processes? // *Neuro-Report.* 1995. Vol. 6. P. 2057–2064.
13. Razumnikova O. M. Functional organization of different brain areas during convergent and divergent thinking: An EEG investigation // *Cogn. Brain Res.* 2000. Vol. 10. P. 11–18.
14. Gray J. A. The contents of consciousness: A neuropsychological conjecture // *Behav. Brain Sci.* 1995. Vol. 18, № 4. P. 659–676.
15. Прибрам К. Языки мозга: Экспериментальные парадоксы и принципы нейропсихологии. М.: Прогресс, 1975. 464 с.

16. Симонов П. В. Память, эмоции и доминанта // Гагрские беседы. Т. 7: Нейрофизиологические основы памяти / ред. Т. Ониани. Тбилиси: Мецниереба, 1979. С. 358–377.
17. Виноградова О. С. Гиппокамп и память. М: Наука, 1975. 239 с.
18. Виноградова О. С., Кичигина В. Ф., Зенченко К. И. Пейсмекерные нейроны медиальной септальной области переднего мозга и тета-ритм гиппокампа // Биологические мембраны. 1998. Т. 11, № 6. С. 715–725.
19. Бехтерева Н. П. Магия мозга и лабиринты жизни. М.; СПб: Аст, 2008. 401 с.
20. Kadar T., Silbermann M., Brandeis R., Levy A. Age-related structural changes in the rat hippocampus: correlation with working memory deficiency // Brain Res. 1990. Vol. 512, № 1. P. 113–120.
21. Eichenbaum H., Schoenbaum G., Young B., Bunsey M. Functional organization of the hippocampal memory system // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1996. Vol. 93. P. 13500–13507.
22. Foster T. C., Dumas T. C. Mechanism for increased hippocampal synaptic strength following differential experience // Neurophysiol. 2001. Vol. 85, № 4. P. 1377–1383.
23. Крюков В. И. Модель внимания и памяти, основанная на принципе доминанты и компараторной функции гиппокампа // Журнал высшей нервной деятельности. 2004. Т. 54, № 1. С. 15–29.
24. Шелепин Ю. Е., Фокин В. А., Хараузов А. К., Пронин С. В., Чихман В. Н. Локализация центра принятия решений при восприятии формы зрительных стимулов // Доклады Академии наук: Физиология. 2009. Т. 429, № 6. С. 835–837.
25. Луначарский А. В. Искусство и революция: Сборник статей. М.: Новая Москва, 1924. 106 с.
26. Marcel A. J. Conscious and unconscious perception: Experiments on visual masking and word recognition // Cognitive Psychology. 1983. Vol. 15. P. 197–237.
27. Gruber T., Mullei M. M. Oscillatory brain activity dissociates between associative stimulus content in a repetition priming task in the human EEG // Cerebral Cortex. 2005. Vol. 15. P. 109–116.
28. Keil A., Midler M. M., Ray W. J., Gruber T., Elbert T. Human gamma band activity and perception of a Gestalt // Neurosci. 1999. Vol. 19. P. 7152–7161.
29. Tallon-Boudry C., Bertrand O. Oscillatory gamma activity in human and its role on object representation // Trends in Cogn. Sci. 1999. Vol. 3. P. 151–162.
30. Петренко В. Ф. Психосемантика сознания. М.: МГУ, 1988. 207 с.