

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ЭЭГ И ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МОЩНОСТИ В ЗАДАЧЕ АНАЛИЗА РИТМОВ ПОКОЯ

Охрименко Г.С.¹, Каримова Е.Д.²

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ул. Ленинские горы, 1, г. Москва, 119234, РФ; e-mail: galina-oxp@mail.ru

² Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН
ул. Бутлерова, 5а, г. Москва, 117485, РФ

Поступила в редакцию: 15.07.2021

Аннотация. Современное общество уделяет много времени потреблению различного рода медиаматериала, что не может не влиять на функциональное состояние головного мозга. Психологи и нейрофизиологи отмечают важность и необходимость нахождения в состоянии спокойного бодрствования – расслабленное физическое и умственное состояние, в котором человек не сосредоточен ни на чём конкретном. В данной работе рассматриваются изменения интенсивности и локализации ритмов спокойного бодрствования электроэнцефалограммы (тета, альфа и бета) после восприятия информационно-развлекательного видеоконтента и пассивного созерцания природы. С каждым из 16 испытуемых проводилось два эксперимента в разные дни (просмотр развлекательного видеоматериала и видеоряда природы). До и после сессий была произведена запись ЭЭГ в состоянии покоя при открытых и закрытых глазах. Решение обратной задачи ЭЭГ и поиск распределённых источников активности ритмов были реализованы с помощью метода standard low resolution tomography (sLORETA), определение спектральной мощности ритмов ЭЭГ до и после восприятия выполнялся методом быстрого преобразования Фурье. После активного восприятия информационного наполненного контента, интенсивность генераторов альфа-ритма повышалась, а после пассивного созерцания природы – снижалась. Наблюдалась разнонаправленная динамика в двух сессиях в бета-1 и бета-2 диапазонах частот. Распределение и динамика тета-ритма не отличались после активной и пассивной сессии. Проведение статического анализа мощностных характеристик позволило получить следующие результаты: наблюдалось повышение спектральной мощности альфа-ритма после активной сессии с открытыми и закрытыми глазами, а также повышение мощности бета1-ритма после активной сессии в пробе с открытыми глазами.

Ключевые слова: ЭЭГ, ритмы покоя, медиа, функциональное состояние.

ВВЕДЕНИЕ

XXI век – век цифровизации, а также стремительного развития технологий, которые безусловно имеют огромное влияние на жизнь современного человека, и, как следствие, способствуют появлению привычки постоянного потребления различного медиаконтента. Значительную часть времени нынешнее общество проводит за просмотром блогов, подкастов, передач и различных шоу. Кроме того, последние несколько лет стали популярны площадки, производящие короткие видеоролики (TikTok, Instagram)

Часть информации, полученной с помощью подобных ресурсов, может быть действительно полезна, интересна и необходима для саморазвития человека, например, просмотр научно-популярных видеороликов. Но зачастую использование интернет-ресурсов – это способ заполнить «паузы» в жизни человека (ожидание в очереди, поездки на общественном транспорте, перерывы на работе или учёбе). Подобный досуг в этом случае воспринимается как простой и лёгкий способ переключиться и отдохнуть. При этом происходит не целевой поиск интересующего содержания, а «сёрфинг» в сети, то есть просмотр и прослушивание предлагаемого алгоритмом сайта контента [1].

Восприятие – достаточно сложный и ресурсозатратный процесс когнитивной деятельности. Поэтому такое активное потребление медиапродуктов не может не сказаться на функциональном состоянии головного мозга.

Если рассматривать функциональное состояние как результат взаимодействия модулирующих систем мозга и высших отделов коры больших полушарий, который определяет текущий режим деятельности человека [2], то длительная афферентная зрительная или слуховая стимуляция перед основной трудовой деятельностью человека или во время пауз с одной стороны может способствовать поддержанию достаточно высокого уровня активации коры, но с другой – приводить к напряжению и перегрузке анализаторов, истощению нервной системы.

Психологи и нейрофизиологи отмечают важность состояния спокойного бодрствования и пребывания в нём [3-5] – в этот момент активно работают сети покоя (Resting State Network). Кроме того, предполагается, что нарушения работы сети покоя могут играть роль в таких болезнях и расстройствах, как болезнь Альцгеймера, рассеянный склероз, шизофрения и др. [6-8]. В связи с этим крайне важно исследовать влияние длительного просмотра медиаконтента на функциональное состояние головного мозга в состоянии покоя.

В данной работе моделируются две различных ситуации для каждого испытуемого: просмотр развлекательного медиаматериала в одном случае и просмотр видеоролика с изображением природы без информационной нагрузки в другом. Подобная экспериментальная парадигма позволила сравнить влияние двух

видов деятельности (просмотр видео и созерцание природы) на функциональное состояние мозга, а также сделать вывод об изменении интенсивности и локализации ритмов покоя после каждого из воздействий.

МЕТОДИКА

Экспериментальная парадигма. В данном исследовании принимали участие 16 человек (9 женщин, 7 мужчин) в возрасте: 21-25 лет. С каждым участником проводили два эксперимента в разные дни. В одном из экспериментов исследовали активное восприятие медиаконтента: испытуемому были предложены научно-популярные видеоролики на различные тематики. Участники могли выбрать интересующий их видеоряд, а также сменить видеоролик на другой при просмотре. В другом эксперименте было исследовано пассивное восприятие – некоторая модель спокойного отдыха без какой-либо умственной нагрузки, аналог созерцания природы или наблюдения за окружающим миром из окна. Для этого были предложены несколько видеорядов без информационного контента: изображение и звуки природы. Длительность видеороликов в обоих случаях составляла 30 мин. В состоянии спокойного бодрствования до и после просмотра с открытыми и закрытыми глазами проводилась запись ЭЭГ. Для анализа использовалось 128 записей.

Оборудование. Регистрацию ЭЭГ проводили с помощью энцефалографа-анализатора “Нейровизор” с 17 электродами (O1, O2, P3, P4, Pz, C3, C4, Cz, F3, F4, Fz, F7, F8, T3, T4, T5, T6), расположенными по системе “10-20”, монополярно относительно объединенных ушных электродов A1 и A2. Для всех отведений задавали частоту опроса 256 Гц, полосу пропускания 0.5–70 Гц, импеданс менее 30 кОм.

Метод независимых компонент (Independent components analysis - ICA), использованный в программе Eeglab, применялся для выделения артефактов и удаления сигналов, относящихся к артефактам, из общей записи ЭЭГ.

Обратная задача ЭЭГ и поиск источников активности. При анализе записей ЭЭГ была решена обратная задача ЭЭГ и определена локализация источников активности ритмов покоя (тета-, альфа-, бета1-, бета2- ритмов) в приближении распределенных источников с помощью метода LORETA [9-11]. Для того чтобы сделать вывод об изменении интенсивности источников после просмотра видеороликов для каждого ритма покоя в случае открытых и закрытых глаз необходимо было произвести повоксельное вычитание интенсивности после просмотра и до просмотра видеоролика, затем усреднить данную разницу по всем испытуемым.

Спектральный анализ. Для проведения интегральной оценки мощности по всем каналам до и после просмотра видеоролика использовался спектральный анализ, в результате которого были получены значения амплитуд спектральной мощности в полосах частот тета- (4–8 Гц), альфа- (8–13 Гц), бета1- (13–24 Гц), и бета2- (24–35 Гц) ритмов по каждому из 17 отведений. После чего значения были усреднены по всем отведениям.

T-критерий Уилкоксона. На основе значений мощности до и после просмотра видеоролика, полученных из спектрального анализа, проводился статистический анализ с помощью MS Excel (расчет T-критерия Уилкоксона), необходимый для нахождения достоверных различий в каждой сессии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Изображения, представленные ниже, являются результатом решения обратной задачи ЭЭГ с использованием стандартной модели черепа и структур мозга. На рисунках 1-4 продемонстрированы 3D модели распределения интенсивности, являющиеся разностью реконструированных распределённых источников после и до просмотра контента и усредненные по всем испытуемым. Распределение источников колебаний рассмотрено в полосах частот, соответствующих ритмам покоя: тета (4–8 Гц), альфа (8–13 Гц) и бета1 (13–24 Гц), и бета2 (24–35 Гц). Учитывая, что данные изображения демонстрируют изменение интенсивности распределенных источников по каждому ритму после просмотра видеоролика, можно сделать вывод об увеличении или уменьшении интенсивности после такого воздействия. Тогда положительное значение интенсивности характеризует увеличение интенсивности, а отрицательное значение, соответственно, уменьшение интенсивности источников ритмов.

1) Глаза закрыты, тета-ритм:

После активной сессии у испытуемых наблюдалось повышение интенсивности источников тета-ритма в височных областях и в районе центральной борозды. После пассивной сессии в височных областях также наблюдалось повышение интенсивности источников тета-ритма, но с меньшим значением, чем после активной сессии (рис. 1а).

2) Глаза открыты, тета-ритм:

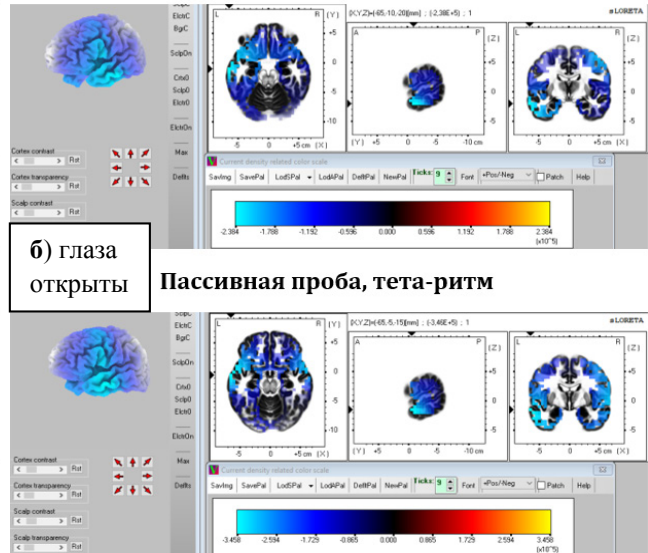
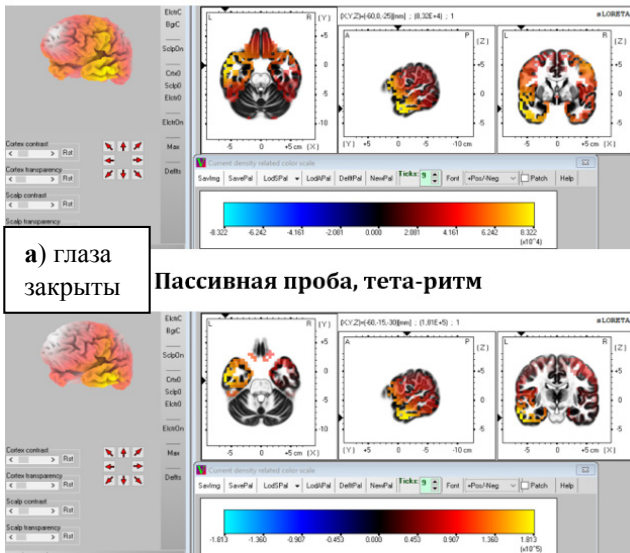
Как после активной, так и после пассивной сессии интенсивность источников тета-ритма уменьшилась диффузно по всему объему (рис. 1б).

3) Глаза закрыты, альфа-ритм:

После активной сессии у испытуемых наблюдалось повышение интенсивности источников альфа-ритма в затылочных и задневисочных областях слева. А после пассивной сессии наблюдалось незначительное повышение интенсивности в затылочных областях и выраженное снижение интенсивности источников альфа-ритма в лобных и височных областях (рис. 2а).

Активная проба, тета-ритм

Активная проба, тета-ритм



Пассивная проба, тета-ритм

Пассивная проба, тета-ритм

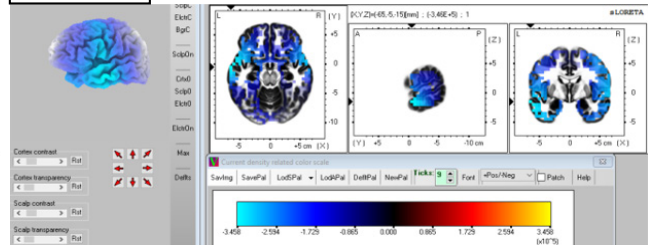
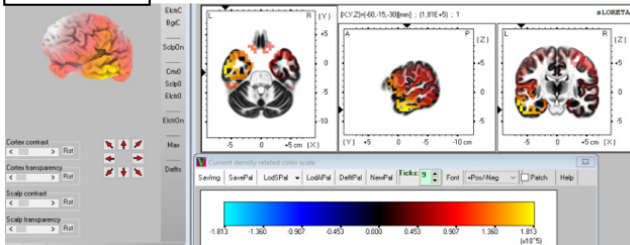
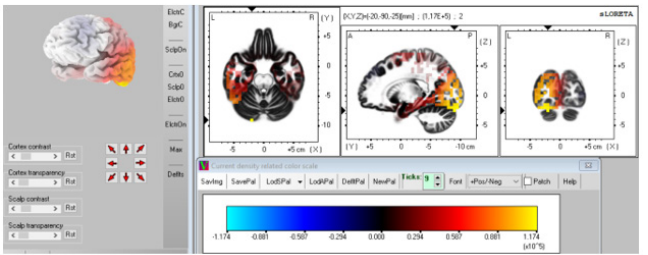
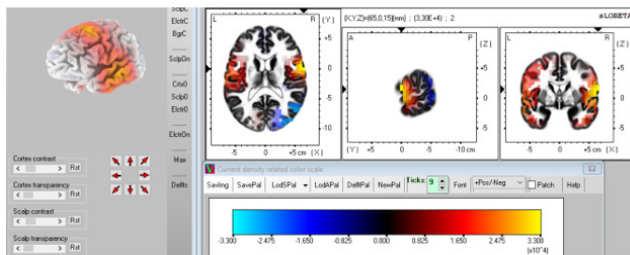


Рисунок 1. Распределение источников активности головного мозга тета-ритма для активной и пассивной сессии (а) при закрытых глазах и (б) при открытых глазах

Активная проба, альфа-ритм

Активная проба, альфа-ритм



Пассивная проба, альфа-ритм

Пассивная проба, альфа-ритм

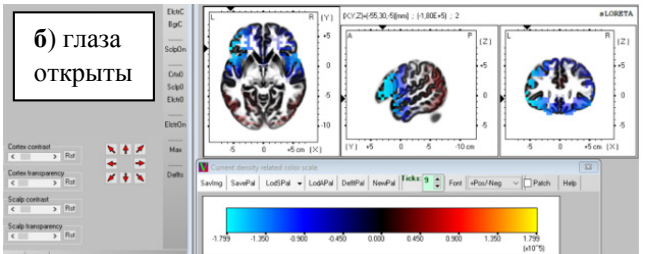
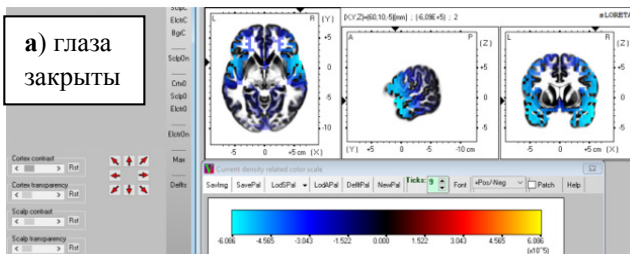


Рисунок 2. Распределение источников активности головного мозга альфа-ритма для активной и пассивной сессии (а) при закрытых глазах и (б) при открытых глазах

4) Глаза открыты, альфа-ритм:

После активной сессии интенсивность источника альфа-ритма увеличилась в височной области и области центральной борозды. После пассивной сессии интенсивность, наоборот, уменьшилась в тех же локусах (рис. 2б).

5) Глаза закрыты, бета1-ритм:

После активной сессии наблюдалось увеличение интенсивности источников бета1- ритма диффузно по всему объему. После пассивной сессии интенсивность в правой лобной доли также увеличивалась, а в левой височной доле, наоборот, незначительно уменьшалась (рис. 3а).

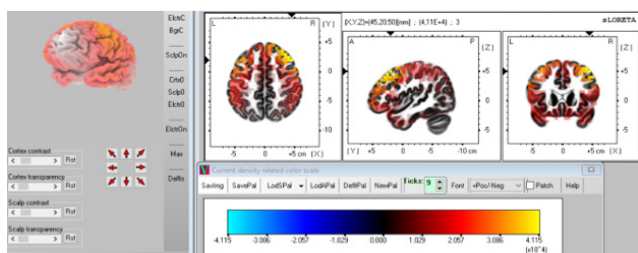
6) Глаза открыты, бета1 – ритм:

После активной сессии интенсивность бета1-ритма увеличилась в лобных и височных областях. В отличие от этого, после пассивной сессии интенсивность источников уменьшилась в тех же локусах (рис. 3б).

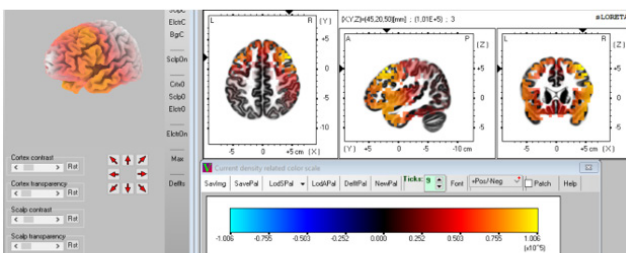
7) Глаза закрыты, бета2 – ритм:

После активной сессии наблюдалось как повышение, так и снижение интенсивности источников бета2-ритма. Интенсивность увеличилась в правом полушарии, а в левой височной и фронтальной области интенсивность уменьшилась. После пассивной сессии интенсивность диффузно увеличилась по всему объему (рис. 4а).

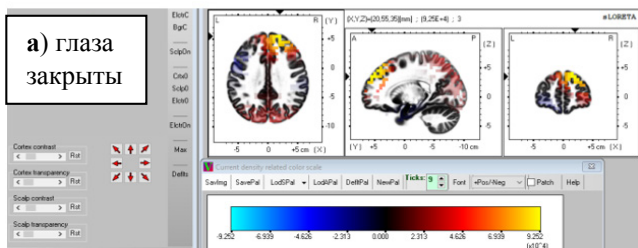
Активная проба, бета1-ритм



Активна проба, бета1-ритм



Пассивная проба, бета1-ритм



Пассивная проба, бета1-ритм

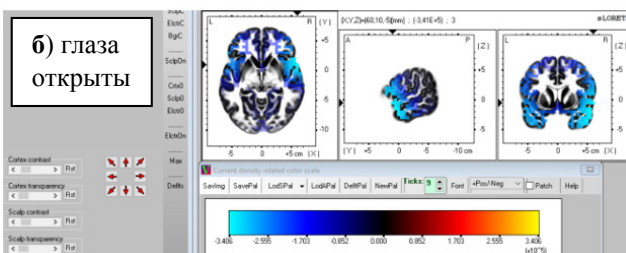
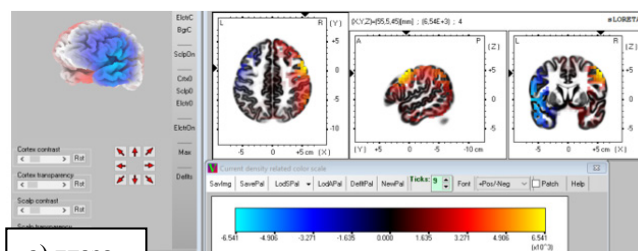
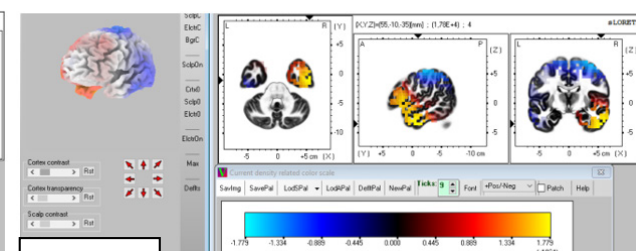


Рисунок 3. Распределение источников активности головного мозга бета1-ритма для активной и пассивной сессии (а) при закрытых глазах и (б) при открытых глазах

Активная проба, бета2-ритм

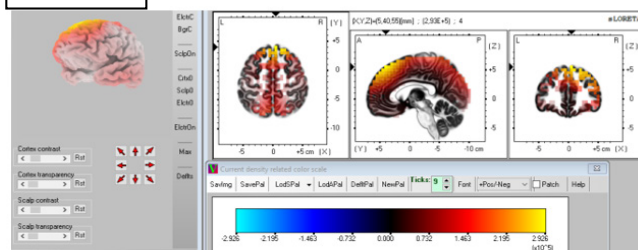


Активная проба, бета2-ритм



а) глаза закрыты

Пассивная проба, бета2-ритм



б) глаза открыты

Пассивная проба, бета2-ритм

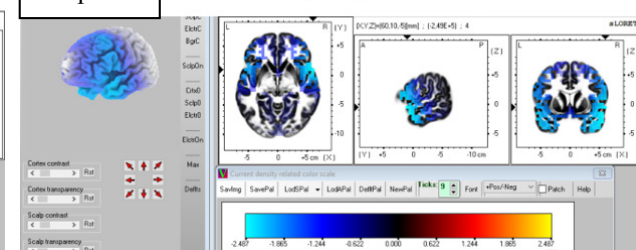


Рисунок 4. Распределение источников активности головного мозга бета2-ритма для активной и пассивной сессии (а) при закрытых глазах и (б) при открытых глазах

8) Глаза открыты, бета2 – ритм:

После активной сессии наблюдалось увеличение интенсивности источников бета2 – ритма в правой височной области, а также уменьшение интенсивности в затылочной области. После пассивной сессии наблюдалось уменьшение интенсивности в лобных и височных областях (рис. 4б).

Интегральная таблица изменений интенсивности источников представлена в таблице 1.

Таблица 1. Интегральное представление результатов: наиболее значимые изменения интенсивности распределённых источников ЭЭГ ритмов после активной и пассивной сессии в пробах с закрытыми и открытыми глазами

Состояние	Сессия	тета-ритм	альфа-ритм	бета1-ритм	бета2-ритм
Глаза закрыты	активная сессия	↑ виски, центральная борозда	↑ затылочные обл. (слева)	↑ диффузно по всему объёму	↑ правое полушарие, ↓ лев. височная и фронт. обл.
	пассивная сессия	↑ виски	↓ лобные, височные обл.	↑ правая лобная доля, ↓ лев. височные обл.	↑ диффузно по всему объёму
Глаза открыты	активная сессия	↓ диффузно по всему объёму	↑ виски, центральная борозда	↑ лобные, височные обл.	↑ правая височная обл., ↓ затылочная обл.
	пассивная сессия	↓ диффузно по всему объёму	↑ виски, центральная борозда	↓ лобные, височные обл.	↓ лобные, височные обл.

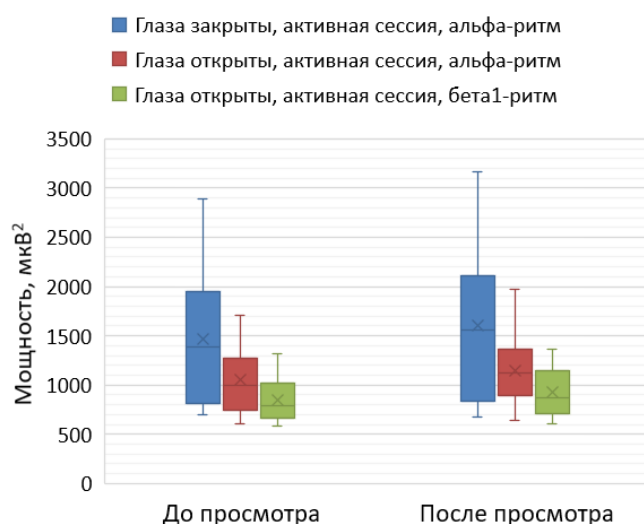


Рисунок 5. Спектральная мощность ритмов в состоянии покоя до и после просмотра видеороликов

1. Наиболее значимые различия в разных сессиях наблюдаются в диапазоне альфа-ритма: после активного восприятия информационного наполненного контента, интенсивность генераторов альфа-ритма повышалась, а после пассивного созерцания природы – снижалась.
2. Разнонаправленная динамика в двух сессиях наблюдалась также в бета1 и бета2 диапазонах частот в пробе с открытыми глазами – в активной сессии повышалась интенсивность источников в лобных и височных областях, а после пассивной сессии – снижалась в тех же локусах.
3. Распределение и динамика источников тета-ритма не отличались после активной и пассивной сессии.

Статистический анализ спектральной мощности ритмов до и после сессий (Т-критерий Уилкоксона) выявил достоверные отличия в частотном диапазоне альфа-ритма при открытых и закрытых глазах и в бета1-диапазоне при открытых глазах (рис. 5): спектральная мощность данных ритмов достоверно повышалась именно после активного просмотра медиаконтента.

Таким образом, резюмируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

- Повышение мощности альфа-ритмов в сочетании с повышением бета ритмов после **активной сессии** может свидетельствовать о повышенном внимании, когнитивной деятельности, процессах запоминания, а также о необходимости физиологического отдыха и переключения в режим спокойного бодрствования.
- Состояние после **пассивной сессии** характеризуется снижением активности альфа-генераторов, повышением активности источников тета- и бета-ритмов при закрытых глазах и понижением их активности при открытых глазах. Достоверных изменений мощности спектральных ритмов после пассивной сессии не было выявлено. Данные результаты могут свидетельствовать о снижении уровня бодрствования испытуемых, и нуждаются в дальнейших подтверждениях на более объемной выборке и последующей интерпретации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты данного исследования свидетельствуют о том, что даже 30 минутная сессия просмотра различных научно-популярных и развлекательных коротких видео влияет на показатели состояния спокойного бодрствования, что говорит об изменении функционирования сетей покоя. Повышение интенсивности альфа- и бета- генераторов свидетельствует о двух параллельных процессах – переходе в режим покоя, но и одновременно с этим перевозбуждении коры головного мозга, такое состояние обычно возникает при тревожных расстройствах. Замещение периодов спокойного бодрствования активным потреблением информации может привести к снижению времени работы сетей покоя, и соответственно, перевозбуждению, проблемам с памятью и вниманием.

Список литературы / References:

1. Белозерова Ю.М. Опыт применения медиатехнологий, виртуальной и дополненной реальности в формировании профессиональных компетенций сотрудников организаций сферы услуг. *Цифровое общество как культурно-исторический контекст развития человека: сборник научных статей*. Под общ. ред. Р.В. Ершовой. Коломна: Государственный социально-гуманитарный университет, 2020, с. 41-43. [Belozerova Yu.M. Experience in the use of media technologies, virtual and augmented reality in the formation of professional competencies of employees of service organizations. *Digital society as a cultural and historical context of human development: a collection of scientific articles*. Under the general ed. of R.V. Ershova. Kolomna: State Social and Humanitarian University, 2020, pp. 41-43. (In Russ.)]
2. Марютина Т.М., Ермолаев О.Ю. *Введение в психофизиологию: учебное пособие по курсу: "Общая и возрастная психофизиология"*. М.: Московский психолого-социальный институт. Флинта, 1997, 240 с. [Maryutina T.M., Ermolaev O.Yu. *Introduction to psychophysiology: a textbook for the course: "General and age-related psychophysiology"*. М.: Moscow Psychological and Social Institute. Flinta, 1997, 240 p. (In Russ.)]

3. Greicius M.D., Krasnow B., Reiss A.L., Menon V. Functional connectivity in the resting brain: a network analysis of the default mode hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, vol. 100, no. 1, pp. 253-258. doi: 10.1073/pnas.0135058100
4. Gusnard D.A., Raichle M.E., Raichle M.E. Searching for a baseline: functional imaging and the resting human brain. *Nature reviews. Neuroscience*, 2001, vol. 2, no. 10, pp. 685-694. doi:10.1038/35094500
5. Mason M.F., Norton M.I., Van Horn J.D., Wegner D.M., Grafton S.T., Macrae C.N. Wandering minds: the default network and stimulus-independent thought. *Science*, 2007, vol. 315, no. 5810, pp. 393-395. doi: 10.1126/science.1131295
6. Greicius M.D., Srivastava G., Reiss A.L., Menon V. Default-mode network activity distinguishes Alzheimer's disease from healthy aging: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, vol. 101, no. 13, pp. 4637-4642. doi: 10.1073/pnas.0308627101
7. Lowe M.J., Beall E.B., Sakaie K.E., Koenig K.A., Stone L., Marrie R.A., Phillips M.D. Resting state sensorimotor functional connectivity in multiple sclerosis inversely correlates with transcallosal motor pathway transverse diffusivity. *Human brain mapping*, 2007, vol. 29, no. 7, pp. 818-827. doi: 10.1002/hbm.20576
8. Bluhm R.L., Miller J., Lanius R.A., Osuch E.A., Boksman K., Neufeld R.W., Theberge J., Schaefer B., Williamson P. Spontaneous low-frequency fluctuations in the BOLD signal in schizophrenic patients: anomalies in the default network. *Schizophrenia bulletin*, 2007, vol. 33, no. 4, pp. 1004-1012. doi: 10.1093/schbul/sbm052
9. Pascual-Marqui R.D. Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods and findings in experimental and clinical pharmacology*, 2002, vol. 24, Suppl D, pp. 5-12.
10. Fuchs M., Kastner J., Wagner M., Hawes S., Ebersole J.S. A standardized boundary element method volume conductor model. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 2002, vol. 113, no. 5, pp. 702-12. doi: 10.1016/s1388-2457(02)00030-5
11. Jurcak V., Tsuzuki D., Dan I. 10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: Their validity as relative head-surface-based positioning systems. *Neuroimage*, 2007, vol. 34, no. 4, pp. 1600-1611. doi: 10.1016/j.neuroimage.2006.09.024

SOLVING THE INVERSE EEG PROBLEM AND INTEGRAL POWER ESTIMATION IN THE RESTING RHYTHM ANALYSIS PROBLEME

Okhrimenko G.S.¹, Karimova E.D.²

¹Lomonosov Moscow State University

Leninskie Gory str., 1, Moscow, 119234, Russia; e-mail: galina-oxp@mail.ru

²Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of the RAS

5a Butlerova str., Moscow, 117485 Russia

Abstract. Modern society devotes a lot of time to the consumption of various kinds of media materials, which cannot but affect the functional state of the brain. Psychologists and neurophysiologists outline the significance and necessity of being in a state of calm wakefulness which is a relaxed physical and mental state when a person is not focused on anything specific. This paper examines the changes in the intensity and localization of the rhythms of calm wakefulness of the electroencephalogram (theta, alpha and beta) after the perception of informative and entertainment video content and passive contemplation of nature. Two experiments were carried out on each of the 16 participants on different days (viewing entertainment video material and a video series of nature). The EEG was recorded at rest with the participants' open and closed eyes before and after the sessions. The solution to the inverse EEG problem and the search for distributed activity sources were implemented using the standard low resolution tomography (sLORETA) method; the determination of the EEG spectral power before and after perception was performed by the Fast Fourier Transform method. After active perception of information-filled content, the intensity of alpha-rhythm generators increased, and after passive contemplation of nature it, conversely, decreased. Multidirectional dynamics was observed in two sessions in the beta-1 and beta-2 frequency ranges. The distribution and dynamics of the theta rhythm did not differ after the active and passive sessions. The statistical analysis of the power characteristics enabled us to obtain the following results: an increase in the spectral power of the alpha rhythm was observed after an active session with the participants' open and closed eyes, as well as an increase in the power of the beta1 rhythm was noted after an active session in the sample with their open eyes.

Key words: EEG, rest rhythms, media, functional state.