

РИТМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОЗГА ПРИ ВОСПИЯТИИ МЕДИА-КОНТЕНТА И СОЗЕРЦАНИИ ПРИРОДЫ

Орехова Д.Д.¹, Каримова Е.Д.²

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ул. Ленинские горы, 1, г. Москва, 119234, РФ

² Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН
ул. Бутлерова, 5а, г. Москва, РФ; e-mail: dorekhova22@gmail.com

Поступила в редакцию: 15.07.2021

Аннотация. В настоящее время всё большее количество людей склонны заполнять любые паузы «сёрфингом» в интернете и просмотром различных развлекательных видеороликов, при этом необходимое для отдыха состояние спокойного бодрствования подменяется восприятием и анализом новой информации. Целью данной работы было проанализировать изменения функционального состояния головного мозга при активном просмотре медиаконтента и пассивном созерцании природы с использованием различных математических методов обработки электроэнцефалограммы (ЭЭГ). В пилотном исследовании участвовали 16 испытуемых 21-25 лет, с каждым из них проводилось 2 тридцатиминутные экспериментальные сессии в разные дни – «активный» просмотр видеороликов и «пассивное» созерцание природы и леса, во время которых регистрировали ЭЭГ. Кроме того, в работе анализировали оптимальность применения различных методов обработки длительных записей электроэнцефалограммы без разделения на эпохи: были выполнены преобразование Гилберта, вейвлет преобразование Event-Related Spectral Perturbation (ERSP), а также рассчитаны когерентность Inter-Trial Coherence (ITC) и суммарная электрическая активность мозга относительно начала стимуляции. Обработка и предобработка, для которой использовался метод независимых компонент (ICA), осуществлялись в программах EEGLAB и Brainstorm. В результате были выявлены различия динамики биоэлектрической активности мозга: в активной сессии на протяжении всей записи преобладали бета- ритмы, во второй половине сессии увеличивалась мощность тета-ритма; в пассивной сессии амплитуда сигнала меньше, преобладают альфа- и бета- ритмы, причём мощность альфа-активности повышается в начале сессии, а бета-ритма – во второй половине. Были сделаны некоторые выводы об адекватности используемых методов для анализа длительных записей электроэнцефалограммы: наиболее информативный метод - ERSP преобразование, а преобразование Гилберта в свою очередь оказалось очень чувствительно к наличию артефактов, так как основано на выделении огибающей.
Ключевые слова: электроэнцефалограмма (ЭЭГ), метод независимых компонент, функциональное состояние, частотно-временной анализ, Вейвлет-преобразование.

ВВЕДЕНИЕ

Несколько десятилетий назад, до широкого распространения гаджетов и развития интернета, для отдыха люди выбирались на природу, слушали звуки леса и наслаждались тишиной. Это способствовало расслаблению, восстановлению нервной системы, переключению функционирования с восприятия и анализа информации на спокойное бодрствование без целенаправленной деятельности.

В современном мире все поменялось. Необходимость много работать, и нехватка времени для выезда на природу привели к тому, что среди молодого поколения все более популярным становится просмотр коротких видеороликов для заполнения «пауз» (ожидание в очереди, поездки на общественном транспорте, перерывы на работе или учёбе). Подобный досуг при этом воспринимается как простой и лёгкий способ переключиться и отдохнуть. Большую часть свободного времени молодые люди проводят за просмотром или прослушиванием блогов, подкастов, новостей, передач, фотографий в перерывах или зачастую параллельно с основной деятельностью: было показано, что среднестатистический американец тратит 8 ч 47 мин в день на просмотр видео-контента [1, 2]. При этом тот факт, что сейчас мозг человека в условиях жизни в большом городе перегружен сенсорным потоком, подтверждают многие психологи [3, 6].

Сможет ли человек качественно отдохнуть, просматривая или прослушивая СМИ, как это скажется на его работоспособности и функциональном состоянии? Так или иначе, медиа-пространство всё больше становится частью современной реальности, особенно для молодых людей, и важной задачей сегодняшней нейропсихологии является оценка воздействия погружения в медиа-пространство на функциональное состояние мозга.

Поскольку массовое вовлечение в медиа-среду с использованием гаджетов – явление достаточно новое, то серьёзных нейрофизиологических исследований этой проблемы ещё не проводилось. Однако в настоящее время все большее внимание уделяется проблеме восприятия медиа-контента и его влиянию на функциональное состояние мозга человека. Например, авторы статей [4, 5] занимаются исследованием айттрекинга при просмотре различных видеороликов, а в статье Н.Н. Лебедевой [7] рассматривается функциональное состояние человека при просмотре медиа-контента разной модальности. Авторы данной работа смогли выявить, какая информация усваивается лучше, а также провели параллель с морганием глаз.

Целью данной работы стало получение картины изменения ритмической активности мозга в течение 26 минут активного восприятия информационно-развлекательного видеоконтента и пассивного созерцания видео с кадрами и звуками природы. Данное исследование поможет не только оценить динамику активности головного мозга во время восприятия информации, но и подобрать оптимальные методы обработки длинных записей электроэнцефалограммы, что является важным результатом в области нейрофизиологии.

МЕТОДИКА

В пилотном исследовании принимали участие 16 человек – 9 женщин и 7 мужчин, в возрасте 21-25 лет. С каждым участником проводили по 2 эксперимента в два разных дня, всего в исследование вошли данные 32 экспериментов. В каждом эксперименте испытуемому предлагали просмотреть или развлекательный медиа-контент (активная сессия), или спокойный видеоряд со звуками природы (пассивная сессия). Подбор медиа-контента осуществляли при участии специалистов кафедры прикладной и экспериментальной лингвистики МГЛУ, при этом учитывали интересы исследуемой социальной группы. В связи с этим были предложены видеоролики различной тематики (интересные факты, отрывки из телепередач, эксперименты). Чтобы постоянно поддерживать высокий уровень заинтересованности и внимания, испытуемые могли переключать видео по своему усмотрению. Во время пассивной сессии испытуемому предлагался к просмотру только один видеоролик без информационного контента, содержащий кадры и звуки летнего леса, без возможности его переключить. Последовательность экспериментов рандомизировали для получения более достоверных результатов. Длительность каждой сессии составляла 30 мин (среднее время однократного просмотра медиа-контента в обычной жизни). Регистрацию ЭЭГ проводили во время восприятия стимульного материала 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), расположенных по системе «10-20», монополярно относительно объединенных ушных электродов A1 и A2 (рис. 1). Для всех отведений задавали частоту опроса 256 Гц, полосу пропускания 0,5-70 Гц, импеданс менее 30 кОм.

Для очистки записей применялась фильтрация сигнала (2-35 Гц), а также метод независимых компонент (ICA). Изначально сигналы ЭЭГ с разных датчиков не являются независимыми. Метод ICA (Independent Component Analysis) состоит в линейном комбинировании сигналов в компоненты так, чтобы полученные компоненты были независимы. Из полученных компонент рассчитываются удобные для анализа характеристики: частотно-мощностная, ERSP, scalpmap, ITC. Этот метод применяется при предположении, что подкомпоненты являются негауссовыми сигналами и что они статистически независимы друг от друга. Статистическая независимость означает, что измерение потенциала, произведенного в отдельном источнике, в данный момент не позволяет сделать никаких предположений относительно источника в другой области мозга. Предобработка проводилась в программе EEGLAB. Для анализа корреляций и мощности записей использовался групповой анализ, Вейвлет-преобразование, а также частотно-временной анализ (преобразование Гилберта). Обработка проводилась в программах EEGLAB, Brainstorm. Кроме того, в работе использовались методы непараметрической статистики, встроенные в программу EEGLAB. В работе выявлялись различия между активной и пассивной сессиями и их характеристиками (ERSP, ITC). При таком анализе не происходит выдвижение каких-либо предположений о характере распределения исследуемых данных. Тесты непараметрической статистики, предполагают оценивание имеющихся отношений ранговых сумм в нескольких выборках, на основании чего формулируется вывод о соотношении этих выборок.

Преобразование Гилберта осуществлялось по следующей формуле (1) [8-10]:

$$h(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(\tau)}{\tau-t} d\tau \quad (1)$$

где $x(t)$ это исходный сигнал, а $h(t)$ – само преобразование Гилберта. Данное преобразование является сверткой функции и по сути мерой огибающей сигнала. Оно указывает на активность в выбранной полосе частот.

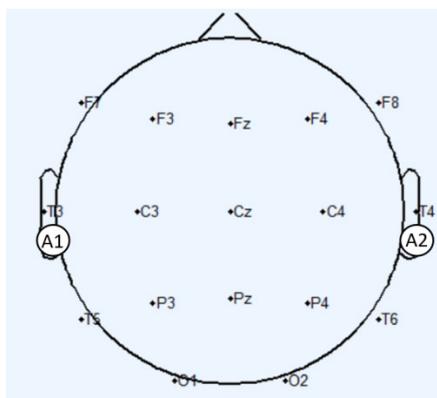


Рисунок 1. Схема расположения электродов

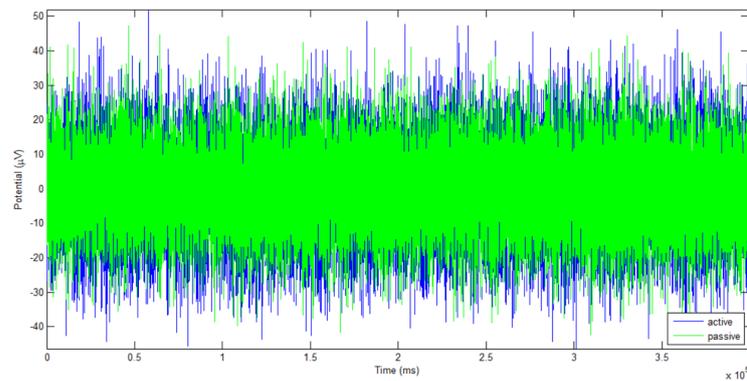


Рисунок 2. График суммарной электрической активности мозга относительно начала стимуляций – амплитуда в активной (синий) и пассивной сессии (зелёный)

ITC (Inter-Trial Coherence) – это мера того, насколько стабильна фаза в ансамбле испытаний. При исследовании колебаний данных ЭЭГ у нас может возникнуть вопрос, насколько последовательно они достигают одной и той же точки в цикле в разных испытаниях, и именно для этого мы будем пользоваться ITC. То есть по сути эта характеристика является функцией кросс-корреляции сигнала. Посчитать ITC можно с помощью коэффициентов Фурье $Z_i(f)$ (2) [11].

$$ITC(t) = \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Z_i(t)}{|Z_i(t)|} \right| \quad (2)$$

Фурье-преобразование возвращает коэффициенты Фурье для каждой комбинации времени и частоты - комплексные числа с действительными и мнимыми компонентами, которые описывают положение в двумерной плоскости, n – число испытаний.

ERSP (Event-Related Spectral Perturbation) – это вейвлет-преобразования ЭЭГ, которое характеризует зависимость мощности от времени и частоты. Этот метод анализа позволяет наглядно увидеть динамику колебательной активности в двух экспериментах. ERSP преобразует динамический сигнал с помощью быстрого преобразования Фурье и тем самым мы можем получить его спектрально-временное представление. С помощью этого преобразования мы можем посчитать изменение мощности (в дБ) в зависимости от частоты и времени (при этом происходит усреднение по всем испытаниям). Обычно для n испытаний применяется формула (3) [11]:

$$ERSP(f, t) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |F_k(f, t)|^2 \quad (3)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Был построен график суммарной электрической активности мозга относительно начала стимуляции для всех каналов (рис. 2). На графике можно увидеть, что амплитуда во время активной сессии больше, чем при пассивном созерцании.

Была построена топограмма суммарной электрической активности для активной и пассивной сессии относительно начальной эпохи. Был также проанализирован уровень значимости с помощью методов непараметрической статистики в программе EEGLAB. Мы видим, что во время активной сессии наблюдалось увеличение спектральной мощности в левом теменном локусе (отведение P3), при этом спектральная мощность снижалась в правой височной области и правом центральном отведении. Во время пассивной сессии происходило менее амплитудное нарастание мощности по всем областям мозга.

Был построен график ITC для активной и пассивной сессий в зависимости от времени наблюдения и относительно начальной эпохи, а также проанализирован уровень значимости с помощью методов непараметрической статистики, встроенных в программу EEGLAB. В тета-диапазоне пассивной сессии нейронные сети работали синхронно: сигнал имеет более высокий уровень когерентности. Для бета-ритма обеих

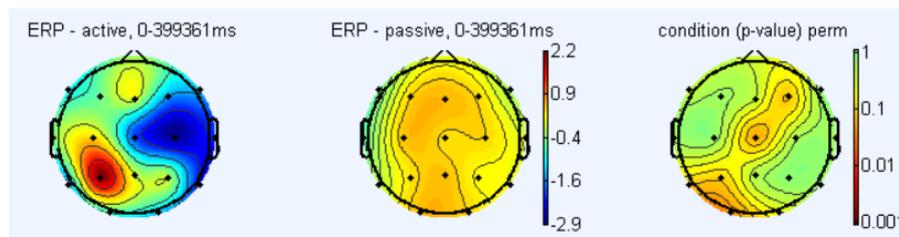


Рисунок 3. Топограммы суммарной электрической активности мозга для активной и пассивной сессий, а также уровень значимости при их сравнении

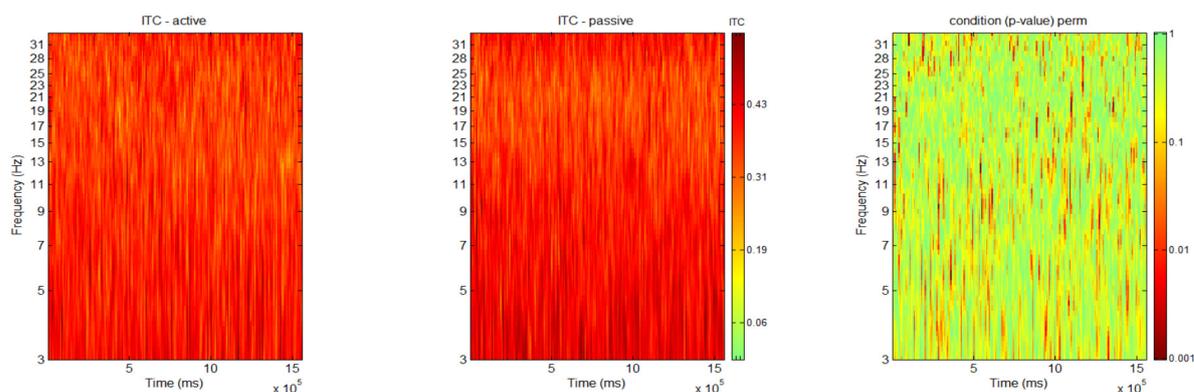


Рисунок 4. График Inter-Trial Coherence (ITC) для активной и пассивной сессий, а также уровень значимости при их сравнении

сессий, наоборот, такой синхронности не наблюдается. Кроме того, между сессиями присутствует различие (низкий уровень значимости), в основном в альфа-диапазоне.

Анализ ЭЭГ с использованием вейвлет-преобразования позволил получить спектрограммы изменения спектральной плотности во времени. График ERSР для активной и пассивной сессий в диапазоне частот 2–35 Гц в зависимости от времени наблюдения и относительно начальной эпохи, а также спектрограмма уровня значимости при сравнении двух сессий с помощью методов непараметрической статистики, представлены на рисунке 5. В активной сессии в целом наблюдался более высокий уровень мощности сигналов ЭЭГ, чем в пассивной, а при этом на протяжении всей записи преобладают бета- и тета- ритмы (в пассивной сессии же – альфа- и бета- ритмы). Присутствуют различия мощностей в бета- и тета- диапазонах.

Также было сделано преобразование Гилберта для каждого испытуемого (программа Brainstorm). Преобразование Гилберта является мерой огибающей сигнала, поэтому на графике 6 указаны максимальные (а не усредненные) значения амплитуды для всех каналов в различные моменты времени. Анализ графиков преобразования Гилберта показал, что преобразование Гилберта очень чувствительно к наличию артефактов – одномоментные всплески огибающей сигнала связаны скорее с мышечным напряжением испытуемого, чем с нейрофизиологическими изменениями активности мозга. Однако это преобразование полезно для того, чтобы оценить амплитуду сигнала отдельного человека в различных частотных диапазонах, причем сделать это наглядно и проследить динамику во время всей сессии.

На рисунке 7 представлена топограмма для отдельного человека, выполненная на основе преобразования Гилберта. Данная мера позволяет выявить локализацию областей мозга с наиболее амплитудными сигналами различных частотных диапазонов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам ERSР анализа можно сказать, что в активной сессии на протяжении всей записи преобладают бета ритмы, а во второй половине сессии увеличивается мощность тета-ритма. В пассивной сессии амплитуда сигнала меньше, преобладают альфа- и бета- ритмы, причём мощность альфа-активности повышается вначале сессии, а бета-ритма – во второй половине. Повышение мощности тета- и бета-ритмов в активной сессии может указывать на повышение активности корковых системы с одной стороны, и на эмоциональное напряжение, концентрацию внимания, когнитивную активность с другой [1,4,6]. Повышение альфа- и бета-ритмов в большей

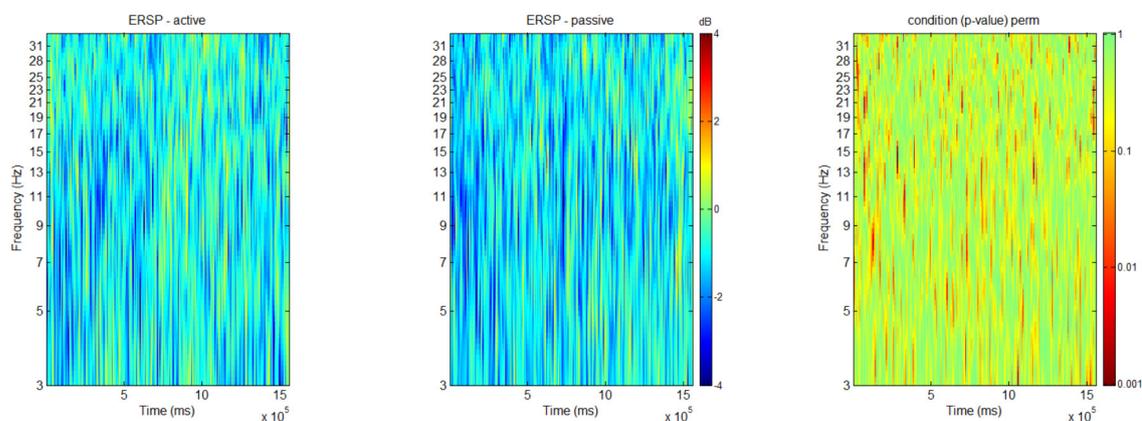


Рисунок 5. График ERSР для активной и пассивной сессий, а также уровень значимости при их сравнении

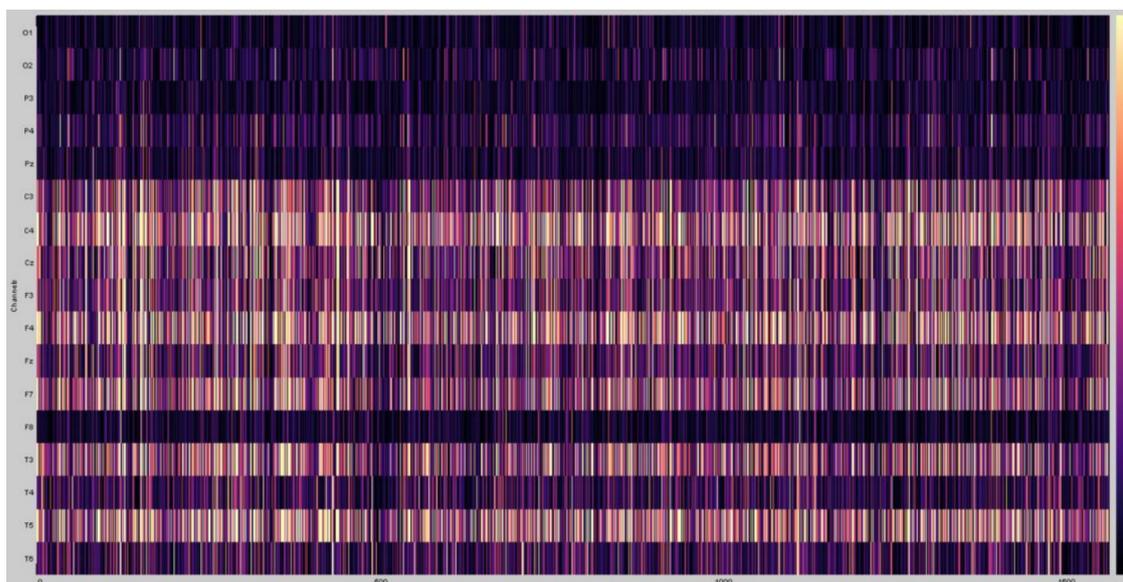


Рисунок 6. Преобразование Гилберта для отдельного испытуемого: значения амплитуды огибающей сигнала в каждый момент записи по каждому из каналов (слева вдоль оси у указаны названия каналов)

степени соответствует состоянию расслабления и отдыха сенсорных систем [1,6]. Кроме того, местами выявляется сильное различие записей (расчет по методам непараметрической статистики) в основном в бета- и тета-диапазонах. Тем самым отдых в лесу и восприятие звуков природы положительно влияет на нервную систему и способствует ее восстановлению.

График суммарной электрической активности относительно начала стимуляции свидетельствует о том, что во время активной сессии амплитуда сигнала в среднем по всем каналам выше, чем во время пассивной. Видно, что это отличие примерно составляет 10мВ. Это можно объяснить тем, что во время пассивной сессии испытуемые находятся в состоянии спокойного бодрствования, а во время активной сессии вынуждены воспринимать и обрабатывать большое количество информации.

По топограмме суммарной электрической активности можно сказать, что значительное различие между сессиями наблюдается в отведениях F4, Cz, P3, T5, O1 (уровень значимости $p \leq 0.05$). Кроме того, во время активной сессии полушария мозга работают асинхронно и потенциал относительно начальной эпохи в них сильно отличается, однако во время пассивной сессии все наоборот и полушария работают синхронно, не происходит сильных отклонений относительно начальной эпохи.

Преобразование Гилберта очень чувствительно к наличию артефактов, так как основано на выделении огибающей сигнала. В связи с этим его не рекомендуется применять к необработанным записям или же если артефакты не до конца удалены.

Применение метода ICA может быть недостаточно для первичной предобработки длительной ЭЭГ, потому что во время записи могут возникать сильные помехи, связанные с движением (нельзя сидеть полностью неподвижно в течение 26 минут), которые с помощью ICA не минимизировать. Фильтрация помогает избавиться от некоторых артефактов, при этом предварительная фильтрация ЭЭГ способствует лучшему разделению исходного сигнала на независимые компоненты.

Согласованность по фазам (ITC) свидетельствует о том, что нейронные сети работали синхронно в тета диапазоне в пассивной сессии: сигнал имеет более высокий уровень когерентности. Для бета-ритма обеих сессий, наоборот, такой синхронности не наблюдается.

Результаты данного пилотного эксперимента тем не менее нуждаются в дальнейшем подтверждении на более крупной выборке с учётом тех методологических выводов, которые были сделаны в данной работе.

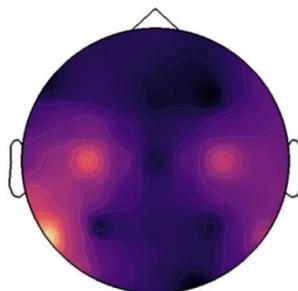


Рисунок 7. Топограмма на основе преобразования Гилберта для отдельного испытуемого – интегральное представление значений амплитуды огибающей на модели поверхности скальпа

Список литературы / References:

1. Nielsen. The Comparable Metrics Report: Q1 2016 [Internet]. 2016. Available from: <http://www.nielsen.com/us/en/insights/reports/2016/the-comparable-metrics-report-q1-2016.html>
2. Nielsen. The Total Audience Report: Q1 2016 [Internet]. 2016. Available from: <http://www.nielsen.com/us/en/insights/reports/2016/the-total-audience-report-q1-2016.html>
3. Torkel K. The Overflowing Brain: Information Overload and the Limits of Working Memory: Information Overload and the Limits of Working Memory. *Oxford University Press*, 2008, 224 p.
4. Andreu-Sanchez C., Martín-Pascual M.A., Gruart A., Delgado-García J.M. Looking at reality versus watching screens: *Media professionalization effects on the spontaneous eyeblink rate*, 2017., doi: 10.1371/journal.pone.0176030
5. Acqualagna L., Bosse S., Porbadnigk A.K., Curio G., Müller K.-R., Wiegand T., Blankertz B. EEG-based classification of video quality perception using steady state visual evoked potentials (SSVEPs). *Journal of Neural Engineering*, 2015, vol. 12, no. 2. doi:10.1088/1741-2560/12/2/026012
6. Дружилов С.А. Негативные воздействия современной информационной среды на человека: психологические аспекты. *Психологические исследования*, 2018. том 11, № 59, с. 11. [Druzhilov S.A. The negative impact of the modern information environment: the psychological aspects. *Psikhologicheskie Issledovaniya*, 2018, vol. 11, no. 59, p. 11. (In Russ.)]
7. Лебедева Н.Н., Каримова Е.Д., Потапов В.В., Потапова Р.К. Комплексное исследование изменения функционального состояния человека при восприятии медиа контента разной модальности, 2020. [Lebedeva N.N., Karimova E.D., Potapov V.V., Potapova R.K. Comprehensive study of changes in the functional state of a person when perceiving media content of different modality (In Russ.)]
8. Bertrand O., Tallon-Baudry C. Oscillatory gamma activity in humans: a possible role for object representation. *Int. J. Psychophysiol.*, 2000, vol. 38, iss. 3, pp. 211-223. doi: 10.1016/s0167-8760(00)00166-5
9. Fourier B.A. Hilbert and wavelet-based signal analysis: are they really different approaches? *Journal of Neuroscience Methods*, 2004, vol. 137, iss. 2, pp. 321-332. doi: 10.1016/j.jneumeth.2004.03.002
10. Le Van Quyen M., Foucher J., Lachaux J., Rodriguez E., Lutz A., Martinerie J., Varela F.J. Comparison of Hilbert transform and wavelet methods for the analysis of neuronal synchrony. *Journal of Neuroscience Methods*, 2001, vol. 111, iss. 2, pp. 83-98. doi: 10.1016/s0165-0270(01)00372-7
11. Delorme A., Makeig S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 2004, vol. 134, iss. 1, pp. 9-21. doi: 10.1016/j.jneumeth.2003.10.009

BRAIN RHYTHMIC ACTIVITY DURING MEDIA-CONTENT PERCEPTION AND NATURE VIEWING**Orekhova D.D.¹, Karimova E.D.²**¹ Moscow State University*Str. Leninskije Gori, 1, Moscow, 119234, Russia*² Institut of higher nervous activity and neurophysiology of RAS*Str. Butlerova, 5a, Moscow, Russia*

Abstract. Currently, an increasing number of people are filling any pauses by surfing the Internet and watching various entertaining videos, while the necessary rest is replaced by the state of calm wakefulness by the perception and analysis of new information. The aim of this work was to analyze changes in the functional state of the brain during active perception of media content and passive viewing of nature using mathematical methods of processing an electroencephalogram (EEG). The pilot study involved 16 subjects aged 21–25 years, each of them underwent 2 thirty-minute experimental sessions in different days - “active” viewing of videos and “passive” contemplation of nature and forest, during which the EEG was recorded. In addition, the paper analyzes the optimality of the application of methods for processing long-term recordings of an electroencephalogram without dividing it into epochs: the Gilbert transform, the Event-Related Spectral Perturbation (ERSP), the Inter-Trial Coherence (ITC) and the effective electrical activity of the brain regarding the start of stimulation were calculated. Processing and preprocessing, which was implemented with Independent Component Analysis (ICA), were carried out in programs EEGLAB and Brainstorm. As a result, the dynamics of bioelectric activity of the brain were revealed: beta rhythms predominated throughout the work, in the second half of the session the power of the theta rhythm increased; in a passive session, the signal amplitude is less, alpha and beta rhythms prevail, and the power of the alpha activity increases at the beginning of the session, and the beta rhythm - in the second half. Some conclusions were made about the adequacy of the methods used for the analysis of long-term electroencephalogram recordings: the most informative method is the ERSP transform, but the Gilbert transform, in turn, turned out to be very sensitive to the presence of artifacts, since it is based on the envelope extraction.

Key words: *electroencephalogram (EEG), Independent Component Analysis, functional state, time-frequency analysis, Wavelet transform.*