

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-2-226-239

**И.А. Яковенко¹, Н.Е. Петренко¹, Е.А. Черемушкин¹,
В.Б. Дорохов¹, З.В. Бакаева², Е.Б. Якунина², В.И. Торшин²,
Ю.П. Старшинов², Д.С. Свешников²**

¹ Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,
117485 г. Москва, Российская Федерация

² Российский университет дружбы народов,
117198 г. Москва, Российская Федерация

Влияние недостатка ночного сна на когнитивную установку по показателям взаимодействия ритмов ЭЭГ

Цель исследования – изучение влияния продолжительности ночного сна на выполнение когнитивной установки по показателю взаимодействия ритмов ЭЭГ. На 120 испытуемых (возраст от 18 до 21 лет; 17 человек с кратковременным ночным сном и 15 с полноценным сном) изучалась взаимосвязь 5 ритмов: бета-1, бета-2, гамма, альфа и тета-ритмов ЭЭГ во время формирования и тестирования когнитивной установки. Регистрировалась многоканальная ЭЭГ. Оценка ЭЭГ осуществлялась путем непрерывного вейвлет-преобразования на основе “материнского” комплексного Morlet-вейвлета в диапазоне 1–35 Гц. Анализировали карты распределения значений модуля коэффициента вейвлет-преобразования, которые отражали амплитудные изменения потенциалов. Мерой, оценивающей взаимодействие ритмов ЭЭГ, являлся коэффициент корреляции Пирсона. На стадии формирования установки испытуемые с кратковременным ночным сном продемонстрировали практически все изучаемые связи ритмов ЭЭГ (8 пар). Студенты с полноценным ночным сном показали существенно меньшее количество достоверных связей пар ритмов: альфа–бета-1, альфа–гамма

и бета-2–гамма. На стадии тестирования когнитивной установки студенты с кратковременным ночным сном продемонстрировали достоверные связи трех пар: альфа–бета-1, бета-1–гамма и бета-2–гамма. У хорошо выспавшихся студентов отмечен рост числа достоверных связей (6 пар) по отношению к стадии формирования когнитивной установки за счет прибавления связей ритмов с тета-ритмом. Полученные данные могут свидетельствовать о том, что таламо-кортикальное и кортико-гиппокампальное структурно-функциональные объединения работают по-разному в этих группах испытуемых.

Ключевые слова: взаимодействие ритмов ЭЭГ, когнитивная установка, депривация сна

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Российской академии наук и Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 19-29-06071.

Для ЦИТИРОВАНИЯ: Влияние недостатка ночного сна на когнитивную установку по показателям взаимодействия ритмов ЭЭГ / Яковенко И.А., Петренко Н.Е., Черемушкин Е.А., Дорохов В.Б., Бакаева З.В., Якунина Е.Б., Торшин В.И., Старшинов Ю.П., Свешников Д.С. // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 2. С. 226–239. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-2-226-239

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-2-226-239

**I.A. Yakovenko¹, N.E. Petrenko¹, E.A. Cheremoushkin¹,
V.B. Dorokhov¹, Z.V. Bakaeva², E.B. Yakunina², V.I. Torshin²,
Yu.P. Starshinov², D.S. Sveshnikov²**

¹Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS,
Moscow, 117485, Russian Federation

²Peoples' Friendship University of Russia,
Moscow, 117198, Russian Federation

Influence of lack of night sleep on the cognitive set by indicators of EEG rhythms coupling

The aim of the study is investigation of nighttime sleep effect on the performance of a cognitive setting in terms of the coupling of EEG rhythms. The coupling of 5 rhythm: beta-1, beta-2, gamma, alpha and theta rhythms of EEG during

the formation and testing of cognitive set was studied for 120 students (17 with short-term night sleep and 15 with a full night sleep). Multi-channel EEG was recorded. EEG evaluation was carried out by continuous wavelet transform based on the "mother" complex Morlet wavelet in the range of 1–35 Hz. Maps of the distribution of the values of the modulus of the wavelet transformation coefficient, which reflect amplitude changes of the potentials were analyzed. The Pearson correlation coefficient was a measure evaluating the coupling of EEG rhythms. The subjects with a short night's sleep showed almost all of the relations of EEG rhythms (8 couples) during the formation stage of presentation. Students with a full night's sleep showed statistically significant coupling of the following pairs of rhythms: alpha–beta-1, alpha–gamma and beta-2–gamma. Students with short-term night sleep demonstrated the 3 significant couples: alpha–beta-1, beta-1–gamma and beta-2–gamma during the testing stage. Well-slept students showed an increase in the number of connections (6 couples) in relation to the stage of formation of the set due to the addition of connections with the theta rhythm. The obtained data could indicate that the thalamo-cortical and cortico-hippocampal structural-functional associations work differently in the groups of subjects.

Key words: coupling of EEG rhythms, cognitive set, sleep deprivation

Acknowledgments. This work was supported by the Russian Academy of Sciences and the Russian Foundation for Basic Research, grant No. 19-29-06071.

FOR CITATION: Yakovenko I.A., Petrenko N.E., Cheremoushkin E.A., Dorokhov V.B., Bakaeva Z.V., Yakunina E.B., Torshin V.I., Starshinov Yu.P., Sveshnikov D.S. Influence of lack of night sleep on the cognitive set by indicators of EEG rhythms coupling. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2020. Vol. 10. № 2. Pp. 226–239. (In Russ.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-2-226-239

Введение

Полноценный сон имеет важное значение как для когнитивных, так и для физиологических функций человека. Недавние исследования показали, что он регулирует ключевые молекулярные механизмы (т.е. регуляторные транскрипционные белки [Пучкова, 2017]), и продемонстрировали, что сон играет неотъемлемую роль в метаболическом гомеостазе [Xie et al., 2013]. Соответственно, недостаток ночного сна, иначе говоря – его депривация, может привести к существенному ухудшению внимания, памяти, времени реакции, скорости принятия решений [Miller et al., 2014]. Это также ухудшает функциональное состояние человека: повышает артериальное давление, нарушает контроль уровня

глюкозы в крови и усиливает воспалительные процессы. Длительный период недостатка сна также может привести к возникновению серьезных соматических заболеваний – гипертонии, ожирению и сахарному диабету 2 типа [Sleep and Disease Risk]. Известно, что депривация сна является стрессогенным фактором, ведущим к метаболическим нарушениям. В исследованиях [Chee et al., 2008; Yoo et al., 2007] с использованием ПЭТ и фМРТ показано снижение метаболизма сетей регионов мозга, ответственных за осуществление различных когнитивных процессов. К таким регионам относятся префронтальная кора, таламус, базальные ганглии и мозжечок. Выявлено снижение гиппокампальной активности в заданиях по изучению эпизодической памяти в условиях депривации сна. Депривация сна существенно влияет на восприятие эмоционального выражения лица [Killgore et al., 2017]. Лица как с положительным, так и негативным выражением оцениваются правильно. Неправильно оценивается нейтральное выражение лица, оно воспринимается как негативное.

Когнитивная установка является неосознаваемым процессом, влияющим на сознательную деятельность человека. Она исследовалась с применением различных стимулов, как вербальных, так и невербальных, с введением дополнительных заданий между установочными стимулами, у лиц с нарушениями сна. На стадии формирования установки на лицевую экспрессию студенты с нарушениями сна совершали до 10 ошибок опознания, тогда как студенты с полноценным ночным сном ошибок не совершали. Стадия формирования установки у студентов с нарушениями сна характеризовалась отсутствием связей медленных ритмов, альфа и тета, с бета-ритмом [Функциональная роль связи бета-ритма..., 2018].

Существует довольно много работ по связи ритмов ЭЭГ [Schanze, Eckhorn, 1997; Niculin, Nolte, Curio, 2012; Rodriguez-Martinez, 2015]. Взаимодействие ритмов ЭЭГ вносит новое качество в описательный процесс различных функциональных состояний человека и животных. В настоящее время существует ряд теорий, объясняющих взаимодействие ритмов ЭЭГ. Объединение может обеспечиваться взаимодействием генераторов различных частот. Также это может быть нейрональным взаимодействием или коммуникацией нейронных популяций.

Нами получены факты, подтверждающие связи медленных и быстрых ритмов ЭЭГ при действии установки. Было высказано предположение о том, что объединение ритмов может являться доказательством объединения структур одной корково-подкорковой системы либо объединения двух или более корково-подкорковых систем [Yakovenko et al., 2019].

Задачей нашей работы являлось исследование взаимодействия быстрых и медленных ритмов ЭЭГ при действии установки на лицевую экспрессию у испытуемых с полноценным и кратковременным ночным сном.

Материалы и методы

В исследовании участвовали 120 человек. По результатам опросника были выбраны две крайние группы испытуемых: с малой продолжительностью сна накануне эксперимента (17 человек) и стандартной продолжительностью сна (15 человек). Средний возраст на момент исследования составил $19,4 \pm 0,82$ (от 18 до 21) лет.

Данное исследование соответствовало этическим стандартам, разработанным в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации». Каждый участник был информирован о цели исследования, подписав согласие на участие в эксперименте.

Накануне эксперимента участники обследования заполняли дневник сна и отвечали на вопросы о продолжительности ночного сна перед экспериментом [Morin, 1993]. Выясняли время, когда испытуемый лег спать накануне и когда проснулся в день проведения эксперимента; уточняли, насколько типичной была такая продолжительность сна. Все испытуемые были ранжированы по длительности сна, в результате были выделены группы с кратковременным ночным сном, менее 4 часов (среднее время сна – $3,68 + 0,18$ ч; 17 человек) и полноценным ночным сном, более 8 часов (среднее время сна – $8,77 + 0,16$ ч; 15 человек). Уровень сонливости оценивался по опроснику «Каролинская шкала сонливости». В исследовании использована модель фиксированной установки, в которой испытуемый решал задачу опознания лицевой экспрессии. Установка формировалась путем двадцатикратного предъявления двух фотографий лица одного человека из атласа эмоций [Ekman, Friesen, 1976]: слева – с сердитым, справа – с нейтральным выражением; на стадии тестирования установки 40 раз экспонировали два лица с «нейтральным» выражением. Установка считалась сформированной, когда испытуемые продолжали оценивать одно из предложенной пары лиц с нейтральным выражением в том или ином числе проб как негативное.

Через 2 с от начала экспонирования лиц предъявляли пусковой стимул (точку белого цвета), при появлении которого испытуемый должен был нажать на кнопку джойстика и сказать – одинаково ли было выражение обоих лиц или же одно из них, левое или правое, более неприятно.

Время предъявления стимулов – 350 мс. Межстимульный интервал менялся в случайном порядке и составлял 4–7 с.

Производилась многоканальная регистрация электрической активности коры головного мозга. Предъявление стимулов и синхронизация их с ЭЭГ осуществляли с помощью программы системы «Неостимул» (“Neurobotics”). Для отведения, усиления и фильтрации ЭЭГ использовали систему Neocortex-Pro (“Neurobotics”). Частота дискретизации – 250 Гц. Полоса пропускания частот: 0,5–70 Гц. Регистрация ЭЭГ осуществлялась с помощью 20 хлорсеребряных электродов (“Micromed”, Венгрия) с сопротивлением, не превышающим 5 кОм, расположенных в соответствии с международной схемой 10–20% с дополнительными отведениями (F3, F4, F7, F8, Fz, FT7, FT8, C3, C4, Cz, FC3, FC4, T3, T4, P3, P4, T5, T6, O1, O2). Отведение ЭЭГ монополярное, референтный электрод – объединенный ушной.

Анализировали отрезки ЭЭГ длительностью 1 с: 1 отрезок – перед предъявлением целевого стимула и 1 секундный отрезок непосредственно после предъявления лиц. Осуществляли непрерывное вейвлет-преобразование на основе «материнского» комплексного Morlet-вейвлета в диапазоне 1–35 Гц. Анализировали карты распределения значений модуля коэффициента вейвлет-преобразования (КВП), которые отражали амплитудные изменения потенциалов. Карты строили в полосе 4–35 Гц с шагом 1 Гц с разрешением по времени 1 мс. Проводили усреднение значений коэффициента вейвлет-преобразования по стадиям эксперимента для каждого испытуемого: при формировании установки и тестировании ее эффекта по всем пробам. В частотных доменах 4–7, 8–14, 15–19, 20–24 и 25–35 Гц проводили усреднение по частотам. На каждом отрезке длительностью 1 с по всем выделенным частотным полосам и для всех областей определяли среднее значение коэффициента вейвлет-преобразования.

Мерой, оценивающей взаимодействие ритмов ЭЭГ, являлся коэффициент корреляции Пирсона. Он вычислялся на основе значений средних величин коэффициента вейвлет-преобразования соответствующих ритмов на 1-ой секунде непосредственно после предъявления целевого стимула по всем отведениям в целом. Статистическая обработка осуществлялась с помощью пакета программ “SPSS, v.11”.

Результаты

Исследование когнитивной установки на эмоциональное выражение лица выявило существенные различия в параметрах взаимодействия ритмов ЭЭГ у студентов с короткой продолжительностью сна и студентов с полноценным ночным сном накануне эксперимента.

**Корреляция ритмов ЭЭГ по коэффициенту
вейвлет-преобразования на стадии формирования
когнитивной установки у испытуемых с недостатком
ночного сна и длительным ночным сном**
[Correlation of EEG rhythms by the wavelet transform coefficient
at the stage of formation of the cognitive setting
in subjects with a lack of night sleep and long night sleep]

Ритмы ЭЭГ [EEG rhythms]	Группы испытуемых [Subject groups]	Корреляция по среднему уровню коэффициента вейвлет-преобразования [Correlation of the average wavelet transform coefficient]
$\beta-1-\alpha$	С недостатком сна	$r = 0,8; p = 0,000$
	Полноценный сон	$r = 0,68; p = 0,005$
$\beta-2-\alpha$	С недостатком сна	$r = 0,67; p = 0,003$
	Полноценный сон	–
$\beta-1-\theta$	С недостатком сна	$r = 0,67; p = 0,003$
	Полноценный сон	–
$\beta-2-\theta$	С недостатком сна	$r = 0,64; p = 0,006$
	Полноценный сон	–
$\beta-1-\gamma$	С недостатком сна	$r = 0,59; p = 0,012$
	Полноценный сон	–
$\beta-2-\gamma$	С недостатком сна	$r = 0,79; p = 0,000$
	Полноценный сон	$r = 0,8; p = 0,000$
$\beta-1-\beta-2$	С недостатком сна	$r = 0,92; p = 0,000$
	Полноценный сон	–
$\alpha-\theta$	С недостатком сна	$r = 0,8; p = 0,000$
	Полноценный сон	–
$\alpha-\gamma$	С недостатком сна	–
	Полноценный сон	$r = 0,53; p = 0,043$
$\theta-\gamma$	С недостатком сна	–
	Полноценный сон	–

Примечание. Испытуемые с недостатком сна: $n = 15$; испытуемые с полноценным сном: $n = 17$.

r – корреляция по коэффициенту Пирсона; p – уровень значимости.

[Note. Subjects with a lack of sleep: $n = 15$; subjects with full sleep: $n = 17$.
 r – Pearson coefficient correlation; p – the significance level.]

На стадии формирования установки (табл. 1), когда предъявлялись пары лиц с разным выражением, испытуемые с кратковременным ночным сном продемонстрировали практически все изучаемые достоверные связи ритмов ЭЭГ (8 пар), за исключением пары альфа–гамма. При этом стоит отметить наличие подавляющего числа связей с тета-ритмом. Студенты с полноценным ночным сном показали достоверные связи следующих пар ритмов: альфа–бета, альфа–гамма и бета-2–гамма. В этой группе связи с тета-ритмом отсутствуют.

Стадия тестирования установки (предъявление пары одинаковых лиц) (табл. 2) также выявила различия во взаимодействии ритмов ЭЭГ у разных групп испытуемых. Студенты с кратковременным ночным сном продемонстрировали сокращение числа достоверных связей ритмов (3 пары) по сравнению со стадией формирования. Выявлены связи альфа–бета-1, бета-1–гамма и бета-2–гамма. Сокращение в основном произошло за счет купирования связей с тета-ритмом. У хорошо выспавшихся студентов отмечен рост числа достоверных связей (6 пар) по отношению к стадии формирования установки за счет прибавления связей ритмов с тета-ритмом. Сопоставление связей ритмов ЭЭГ у двух групп испытуемых показало наличие практически всего спектра изучаемых связей у студентов с полноценным ночным сном, тогда как у студентов с депривацией сна на этой стадии исследования сохранились только связи бета-1 и бета-2 с гамма-ритмом, а также связи альфа-ритма с бета-1. На этой стадии эксперимента оценивали количество ошибок опознания лицевой экспрессии, что позволяло судить о сформированности когнитивной установки. Выявлено, что число ошибок опознания лицевой экспрессии в группах было приблизительно одинаковым. Этот факт в сочетании с результатами энцефалографического исследования позволяет утверждать, что достижение одного и того же результата психической деятельности имеет под собой разную нейрофизиологическую основу.

Таким образом, выявлен разнонаправленный характер взаимодействия тета-ритма с более быстрыми ритмами на разных стадиях эксперимента у испытуемых с кратковременным ночным сном и студентов с полноценным сном.

Обсуждение

Исследование когнитивной установки на эмоциональное выражение лица в условиях разной продолжительности ночного сна накануне эксперимента показало ее влияние на нейрофизиологические основы изучаемой психической активности, в частности, на амплитудное взаимодействие ритмов ЭЭГ. В работе изучалось амплитудное взаимодействие ритмов ЭЭГ на основе коэффициента Пирсона, позволяющее судить о включенности разных мозговых структурно-функциональных объединений в единый процесс при осуществлении психической деятельности человека.

**Корреляция ритмов ЭЭГ по коэффициенту
вейвлет-преобразования на стадии тестирования
когнитивной установки у испытуемых с недостатком
ночного сна и длительным ночным сном**
[Correlation of EEG rhythms by the wavelet transform coefficient
at the stage of testing the cognitive setting
in subjects with a lack of night sleep and long night sleep]

Ритмы ЭЭГ [EEG rhythms]	Группы испытуемых [Subject groups]	Корреляция по среднему уровню коэффициента вейвлет-преобразования [Correlation of the average wavelet transform coefficient]
$\beta-1-\alpha$	С недостатком сна	$r = 0,655; p = 0,004$
	Полноценный сон	$r = 0,84; p = 0,000$
$\beta-2-\alpha$	С недостатком сна	–
	Полноценный сон	$r = 0,63; p = 0,012$
$\beta-1-\theta$	С недостатком сна	–
	Полноценный сон	–
$\beta-2-\theta$	С недостатком сна	–
	Полноценный сон	–
$\beta-1-\gamma$	С недостатком сна	$r = 0,49; p = 0,048$
	Полноценный сон	$r = 0,63; p = 0,011$
$\beta-2-\gamma$	С недостатком сна	$r = 0,81; p = 0,000$
	Полноценный сон	$r = 0,80; p = 0,000$
$\beta-1-\beta-2$	С недостатком сна	$r = 0,75; p = 0,000$
	Полноценный сон	$r = 0,87; p = 0,000$
$\alpha-\theta$	С недостатком сна	–
	Полноценный сон	–
$\alpha-\gamma$	С недостатком сна	–
	Полноценный сон	–
$\theta-\gamma$	С недостатком сна	–
	Полноценный сон	$r = 0,54; p = 0,036$

Примечание. Испытуемые с недостатком сна: $n = 15$; испытуемые с полноценным сном: $n = 17$.

r – корреляция по коэффициенту Пирсона; p – уровень значимости.

[Note. Subjects with a lack of sleep: $n = 15$; subjects with full sleep: $n = 17$.

r – Pearson coefficient correlation; p – the significance level.]

У испытуемых с полноценным ночным сном накануне эксперимента на стадии формирования когнитивной установки (предъявление пар лиц с разным эмоциональным выражением) отсутствуют связи тета-ритма с быстрыми ритмами ЭЭГ, тогда как на стадии тестирования установки (предъявление пар лиц с одинаковым выражением), наоборот, возникает связь тета- и гамма-ритмов. Испытуемые с недостаточной продолжительностью сна накануне эксперимента продемонстрировали противоположные результаты: на стадии формирования установки показаны связи тета-ритма с быстрыми ритмами ЭЭГ, а на стадии тестирования – нет. Известно, что тета-ритм в определенной мере отражает работу кортико-гиппокампального круга. Таким образом, можно предположить, что структуры лимбической системы включаются в процесс переработки информации разнонаправленно на разных стадиях установки у двух групп испытуемых.

В работе была выявлена связь альфа- и гамма-ритмов в группе испытуемых с полноценным ночным сном только на стадии формирования установки на лицевую экспрессию. В работах [Uhlhaas et al., 2008; Roux, Uhlhaas, 2014] высказывается предположение о том, что связь альфа- и гамма-ритмов может отражать работу таламо-кортикальной структурно-функциональной системы. Связи альфа-ритма с бета-ритмом представлены в обеих группах на обеих стадиях эксперимента. Можно предположить, что таламо-кортикальный круг по-разному поддерживает уровень активации за счет включения различных быстрых ритмов ЭЭГ, которые могут быть связаны с функционированием различных структур мозга для осуществления текущей деятельности.

Выявлен разнонаправленный характер взаимодействия тета-ритма с более быстрыми ритмами на разных стадиях эксперимента у испытуемых с депривацией сна и студентов с полноценным ночным сном. Показана связь альфа-гамма у испытуемых с полноценным ночным сном. Полученные данные свидетельствуют о том, что таламо-кортикальное и кортико-гиппокампальное структурно-функциональные объединения работают по-разному в группах испытуемых с различной продолжительностью ночного сна накануне эксперимента.

Можно предположить, что связь медленных ритмов с быстрыми осуществляется тогда, когда вследствие влияния какого-то негативного фактора ослабевают внутренние ресурсы мозга. Для осуществления полноценной психической деятельности мозг использует резервные возможности. Такими ресурсами являются дополнительные связи медленных и быстрых ритмов, создавая оптимум активации структур мозга для выполнения деятельности.

Выводы

1. На стадии формирования установки испытуемые с кратковременным ночным сном продемонстрировали практически все изучаемые связи ритмов ЭЭГ (8 пар). Студенты с полноценным ночным сном показали существенно меньшее количество достоверных связей пар ритмов: альфа–бета-1, альфа–гамма и бета-2–гамма.

2. На стадии тестирования установки студенты с кратковременным ночным сном продемонстрировали достоверные связи трех пар: альфа–бета-1, бета-1–гамма и бета-2–гамма. У хорошо выспавшихся студентов отмечен рост числа достоверных связей (6 пар) по отношению к стадии формирования установки за счет прибавления связей ритмов с тета-ритмом.

Библиографический список / References

Пучкова А.Н. Генетика сна и суточных биологических ритмов человека: современные представления // Эффективная фармакотерапия. Неврология. Спецвыпуск «Сон и его расстройства – 5». 2017. № 35. С. 14–20. DOI: 10.13140/RG.2.2.10316.26241 [Puchkova A.N. Genetics of sleep and circadian biological rhythms in man: A contemporary view. *Effektivnaya farmakoterapiya. Nevrologiya Spetsvyusk «Son i ego rasstrojstva – 5»* 2017. No. 35. Pp. 14–20. DOI: 10.13140/RG.2.2.10316.26241 (In Russ.)]

Функциональная роль связи бета-ритма с медленными ритмами у студентов с нарушениями сна при формировании установки на лицевую экспрессию / Яковенко И.А., Петренко Н.Е., Черемушкин Е.А. и др. // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2018. Т. 104. № 10. С. 1238–1249. DOI: 10.7868/S0869813918100106 [Yakovenko I.A., Petrenko N.E., Cheremushkin E.A. et al. Functional role of beta-rhythm coupling with slow rhythms in students with sleep disorders in the forming of facial expression set. *Rossijskij fiziologicheskij zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2018. Vol. 104. No. 10. Pp. 1238–1249. DOI: 10.7868/S0869813918100106 (In Russ.)]

Chee M.W., Tan J.C., Zheng H. et al. Lapsing during sleep deprivation is associated with distributed changes in brain activation. *Journal of Neuroscience*. 2008. Vol. 28. No. 21. Pp. 5519–5528. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0733-08

Ekman P., Friesen W.V. Pictures of Facial Affect. Palo Alto, CA, 1976.

Killgore W.D.S., Balkin T.J., Yarnell A.M., Capaldi V.F. Sleep deprivation impairs recognition of specific emotions. *Neurobiology of Sleep and Circadian Rhythms*. 2017. Vol. 3. Pp. 10–16. DOI: 10.1016/j.nbscr.2017.01.001

Miller M., Wright H., Hough J., Cappuccio F. Sleep and cognition. *Sleep and its Disorders Affect Society*. 2014. Pp. 3–28. DOI: 10.5772/58735

Morin C.M. Insomnia, psychological assessment and management. New York, 1993.

Niculin V., Nolte G., Curio G. Cross-frequency decomposition. A novel technique for studying interactions between neuronal oscillation with different frequencies. *Clin. Neurophysiol.* 2012. Vol. 123. No. 7. Pp. 1353–1360. DOI: 10.1016/j.clinph.2011.12.004

Rodríguez-Martínez E.I., Barriga-Paulino C.I., Rojas-Benjumea M.A., Gomez C.M. Co-maturation of theta and low-beta rhythms during child development. *Brain Topogr.* 2015. Vol. 28. No. 2. Pp. 250–260. DOI: 10.1007/s10548-014-0369-3

Roux F., Uhlhaas P.J. Working memory and neural oscillations: alpha – gamma versus theta – gamma codes for distinct WM information? *Trends in Cognitive Sciences*. 2014. Vol. 18. No. 1. Pp. 16–25. DOI: 10.1016/j.tics.2013.10.010

Schanze T., Eckhorn R. Phase correlation among rhythms present at different frequencies: Spectral method, application to microelectrode recording from visual cortex and functional implication. *Int. J. Psychophysiol.* 1997. Vol. 26. No. 1-3. Pp. 171–189. DOI: 10.1016/S0167-8760(97)00763-0

Sleep and Disease Risk. Healthy Sleep. Harvard Medical School. URL: <http://healthy.sleep.med.harvard.edu/healthy/matters/consequences/sleep-and-disease-risk> (accessed: 05.05.2020)

Uhlhaas P.J., Haenschel C., Nicolic D., Singer W. The role of oscillations and synchrony in cortical networks and their putative relevance for the pathophysiology of schizophrenia. *Schizophr. Bull.* 2008. Vol. 34. No. 5. Pp. 927–943. DOI: 10.1093/schbul/sbn062

Yakovenko I.A., Petrenko N.E., Cheremushkin E.A., Kozlov M.K. Interaction of EEG rhythms in a set to a facial expression. *Neuroscience and Behavioral Physiology.* 2019. Vol. 49. No. 4. Pp. 508–513. DOI: 10.1007/s11055-019-00763-7

Yoo S.-S., Hu P.T., Gujar N. et al. A deficit in the ability to form new human memories without sleep. *Nature Neuroscience.* 2007. Vol. 10. No. 3. Pp. 385–392. DOI: 10.1038/nn1851

Xie L., Kang H, Xu Q. et al. Sleep drives metabolite clearance from the adult brain. *Science.* 2013. Vol. 342. Pp. 373–377. DOI: 10.1126/science.124122

Статья поступила в редакцию 20.02.2020, принята к публикации 12.04.2020

The article was received on 20.02.2020, accepted for publication 12.04.2020

Сведения об авторах / About the authors

Яковенко Ирина Анатольевна – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

Irina A. Yakovenko – PhD in Biology; senior research fellow at the Laboratory of Sleep and Wakefulness Neurobiology, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0391-7266>

E-mail: irinayakovenko@mail.ru

Петренко Надежда Евгеньевна – кандидат биологических наук; научный сотрудник лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

Nadejda E. Petrenko – PhD in Biology; research fellow at the Laboratory of Sleep and Wakefulness Neurobiology, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3639-8957>

E-mail: xhto@yandex.ru

Черемухин Евгений Алексеевич – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

Evgeniy A. Cheremoushkin – PhD in Biology; senior research fellow at the Laboratory of Sleep and Wakefulness Neurobiology, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6902-8077>; SPIN 3122-6227

E-mail: ivnd@mail.ru

Дорохов Владимир Борисович – доктор биологических наук; заведующий лабораторией нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

Vladimir B. Dorokhov – Dr. Hab. in Biology; head at the Laboratory of Neurobiology of Sleep and Wakefulness, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3533-9496>

E-mail: vbdorokhov@mail.ru

Бакаева Зарина Важикоевна – ассистент кафедры нормальной физиологии Медицинского института, Российский университет дружбы народов, г. Москва

Zarina B. Bakaeva – Assistant at the Department of Normal Physiology of the Medical Institute, RUDN University, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7795-0897>

E-mail: bakaeva@rudn.ru

Якунина Елена Борисовна – кандидат медицинских наук; ассистент кафедры нормальной физиологии Медицинского института, Российский университет дружбы народов, г. Москва

Elena B. Yakunina – PhD in Medicine; Assistant at the Department of Normal Physiology of the Medical Institute, RUDN University, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0922-900X>

E-mail: dr.yakunina@gmail.com

Торшин Владимир Иванович – доктор биологических наук; заведующий кафедрой нормальной физиологии Медицинского института, Российский университет дружбы народов, г. Москва

Vladimir I. Torshin – Dr. Hab. in Biology; Head at the Department of Normal Physiology of the Medical Institute, RUDN University, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3950-8296>

E-mail: torshin-vi@rudn.ru

Старшинов Юрий Петрович – кандидат медицинских наук; доцент кафедры нормальной физиологии Медицинского института, Российский университет дружбы народов, г. Москва

Yuri P. Starshinov – PhD in Medicine; associate professor at the Department of Normal Physiology of the Medical Institute, RUDN University, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1836-6209>

E-mail: 1345301@mail.ru

Свешников Дмитрий Сергеевич – доктор медицинских наук; доцент кафедры нормальной физиологии Медицинского института, Российский университет дружбы народов, г. Москва

Dmitry S. Sveshnikov – Dr. Hab. in Medicine; Associate Professor of the Department of Normal Physiology of the Medical Institute, RUDN University, Moscow

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1050-7871>

E-mail: sveshnikov-ds@rudn.ru

Заявленный вклад авторов

И.А. Яковенко – существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, автор идеи анализа ритмических взаимодействий ЭЭГ, участие в получении и анализе экспериментальных данных исследования, подготовка текста статьи.

Н.Е. Петренко – значимый вклад в концепцию и дизайн исследования, участие в проведении экспериментального исследования, статистическая обработка данных.

Е.А. Черемушкин – большой вклад в концепцию и дизайн исследования, автор идеи исследования лиц с нарушениями сна, организация экспериментального исследования и участие в его проведении, анализ электроэнцефалографических данных.

В.Б. Дорохов – участие в разработке дизайна исследования и обсуждении, подготовка статьи к публикации.

З.В. Бакаева – участие в организации экспериментального исследования и в его проведении.

Е.Б. Якунина – участие в организации экспериментального исследования и в его проведении.

В.И. Торшин – участие в обсуждении, подготовка статьи к публикации.

Ю.П. Старшинов – участие в организации экспериментального исследования и в его проведении.

Д.С. Свешников – участие в обсуждении, подготовка статьи к публикации.

Contribution of the authors

I.A. Yakovenko – made a major contribution to the concept and design of the study, authored the idea of analyzing rhythmic EEG interactions, participated in obtaining and analyzing experimental data of the study, preparation of the article for publication.

N.E. Petrenko – significantly contributed to the concept and design of the study, participated in experimental studies, and conducted statistical data processing.

Ye.A. Cheremushkin – contributed greatly to the concept and design of the study, offering to study patients with sleep disorders, organized and participated in the experimental study, conducted the analysis of electroencephalographic data.

V.B. Dorokhov – participated in the development of the research design, in the discussion and preparation of the article for publication.

Z.V. Bakaeva – organized and participated in the experimental study.

E.B. Yakunina – organized and participated in the experimental study.

V.I. Torshin – participated in the discussion and preparation of the article for publication.

Yu.P. Starshinov – organized and participated in the experimental study.

D.S. Sveshnikov – participated in the discussions and preparation of the article for publication.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript