

DOI: 10.7868/S0869813918100106

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ СВЯЗИ БЕТА-РИТМА  
С МЕДЛЕННЫМИ РИТМАМИ У СТУДЕНТОВ  
С НАРУШЕНИЯМИ СНА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ УСТАНОВКИ  
НА ЛИЦЕВУЮ ЭКСПРЕССИЮ**

© *И. А. Яковенко, Н. Е. Петренко, Е. А. Черемушкин,  
М. К. Козлов, В. Б. Дорохов*

Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,  
Москва, Россия  
E-mail: irinayakovenko@mail.ru

На 23 студентах исследовали особенности взаимодействия тета-, альфа- и бета-ритмов при восприятии эмоционального выражения лица. Анализировали отрезки ЭЭГ посредством непрерывного вейвлет-преобразования на основе «материнского» комплексного Morlet-вейвлета в диапазоне 1—35 Гц. Для оценки взаимодействия бета-ритма с тета-, альфа1- и альфа2-ритмами использовали коэффициент корреляции Пирсона. У студентов с нарушениями сна при восприятии разных лиц выявлено отсутствие связей между бета-, альфа- и тета-ритмами. Студенты без нарушений сна продемонстрировали связь альфа-ритма не только с тета-, но и с бета-ритмом. При предъявлении одинаковых лиц у студентов с нарушениями сна отмечена связь бета-ритма с альфа- и с тета-ритмами, тогда как здоровые студенты продемонстрировали связь альфа2- и бета-ритмов. Высказано предположение об активирующей роли бета-ритма при его включении в работу кортикогиппокампального и таламокортикального кругов, что способствовало правильному распознаванию лицевых эмоций.

*Ключевые слова:* нарушения сна, связь ритмов ЭЭГ, вейвлет-преобразование, опознание лицевой экспрессии.

Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. Т. 104. № 10. С. 1238—1249. 2018

*I. A. Yakovenko, N. E. Petrenko, E. A. Cheremushkin, M. K. Kozlov, V. B. Dorokhov.* THE FUNCTIONAL ROLE OF THE BETA-RHYTHM CONNECTION WITH SLOW RHYTHMS IN STUDENTS WITH INSOMNIA DURING FORMATION OF PERCEIVING THE FACIAL EXPRESSION. Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia; e-mail: irinayakovenko@mail.ru

We investigated the coupling features of theta, alpha and beta rhythms during perceiving the facial emotional expression on 23 students. The EEG segments were analyzed using a continuous wavelet transformation based on the «mother» complex Morlet wavelet in the range of 1—35 Hz. To evaluate the interaction of beta-rhythm with theta, alpha1 and alpha2 rhythms, the Pearson cor-

relation coefficient was used. Students with insomnia revealed a lack of connections between beta and alpha and theta rhythms during perceiving different faces. Students without sleep disorders demonstrated an alpha-rhythm connection not only with theta, but also with beta-rhythm. Students with insomnia demonstrated correlation beta-rhythm with alpha and theta-rhythms, while healthy students demonstrated a relationship between alpha<sup>2</sup> and beta rhythms during presentation of the same type of faces. It is suggested that the activating role of beta-rhythm when it is included in the work of cortico-hippocampal and thalamo-cortical circles, which contributed to the correct recognition of facial emotions.

*Key words:* insomnia, coupling of EEG rhythms, wavelet transformation, faces recognition.

RUSSIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY. V. 104. N 4. P. 1238—1249. 2018

В настоящее время показано, что различные нарушения сна оказывают негативное влияние на здоровье людей и эффективность деятельности во время бодрствования [3, 27, 41]. В дневной активности таких людей регистрируются нарушения когнитивных функций: ухудшается память, снижается концентрация внимания, возникают трудности обучения [8, 20, 26, 29, 41]. Недостаток сна также влияет на эмоциональное восприятие [25, 26]. Исследование людей с депривацией сна показало, что они подобно людям с полноценным сном правильно оценивают лица как с негативным, так и с позитивным выражением, тогда как лица с нейтральным выражением оцениваются ими неправильно: они воспринимаются как негативные [26]. Сходные результаты получены и в других исследованиях [16, 43].

Каковы же особенности функционирования мозга у людей с нарушениями сна во время выполнения различных психологических заданий? Использование ПЭТ показало, что депривация сна сопровождается уменьшением метаболической активности сетей мозговых областей, необходимых для осуществления высших психических функций человека (когнитивных процессов), таких как префронтальная кора, передняя цингулярная извилина, таламус, базальные ганглии и мозжечок [15, 42]. Депривация сна, по данным фМРТ, приводит к дефициту гиппокампальной активности в заданиях по изучению эпизодической памяти [45]. Выполнение задания на вербальное обучение (использовали простые и сложные слова) сопровождалось увеличением активности префронтальной коры (данные фМРТ) в ответ на предъявление сложных слов после 36-часовой депривации сна [18].

Сходная картина изменений, затрагивающих гиппокамп, орбитофронтальную кору и переднюю цингулярную извилину, получена и на больных с инсомнией [9, 23, 32]. Р. Naughton и соавт. [30] отмечали снижение активности в таламокортикальных сетях при выполнении заданий на внимание и других когнитивных процессах при нарушениях сна. Обнаружена высокая активность префронтальной коры (данные фМРТ) у людей с инсомнией при спокойном бодрствовании [8, 24]. Н. J. Orff [33] отмечает уменьшение мощности альфа-ритма у людей, страдающих инсомнией, в состоянии спокойного бодрствования, что отражает повышенный уровень активации (hyperarousal) у этой группы. Учитывая вышеперечисленные работы, можно сказать, что депривация сна влияет на структуры мозга, вовлеченные в выполнение различного рода когнитивных заданий.

В настоящее время существует ряд работ, посвященных изучению взаимодействия ритмов [14, 39, 44]. Взаимосвязь спектров мощности тета- и бета-ритмов показана в ядрах таламуса [36]. Отмечено совместное созревание этих ритмов в ЭЭГ покоя у детей, подростков и взрослых [22]. Показана связь альфа- и бета-ритмов в работах [17, 35]. Основа взаимодействия ритмов в настоящее время не представляется единообразной. Одни авторы считают, что его

обеспечивает взаимодействие генераторов изучаемых частот [34], другие указывают на нейрональное взаимодействие, на коммуникацию нейронных популяций [31, 37]. Вероятно, усиление корреляционной связи между ритмами обеспечивается взаимодействием популяций нейронов, генерирующих ритмы, объединяя функционально разные структуры внутри одной или нескольких корково-подкорковых систем. Нам неизвестны работы по взаимодействию ритмов ЭЭГ при выполнении каких-либо когнитивных заданий людьми с нарушениями сна. Исходя из этого важно было исследовать такое взаимодействие. Опираясь на многочисленные данные литературы о нарушениях когнитивных функций, характерных для лиц, страдающих нарушениями сна, можно предположить, что взаимодействие «быстрых» и «медленных» ритмов ЭЭГ при реализации когнитивной деятельности у них будет иметь ряд существенных отличий от контрольной группы — лиц с полноценным сном, что может внести вклад в исследования механизмов нарушения когнитивных процессов при нарушении сна. Целью исследования являлось выявление особенностей взаимодействия «быстрых» и «медленных» ритмов ЭЭГ у студентов с нарушениями сна и хорошо спящих студентов.

В задачу исследований входило выявление особенностей взаимодействия тета-, альфа- и бета-ритмов в состоянии спокойного бодрствования и при действии установки на эмоциональное выражение лица у студентов с нарушениями сна.

## МЕТОДИКА

В исследовании участвовали 84 студента 2-го курса лечебного и педиатрического факультетов дневного отделения РНИМУ им. Н. И. Пирогова. По результатам опросника были выбраны две крайние группы испытуемых: с ярко выраженными нарушениями сна (12 человек) и хорошо спящие (11 человек). Средний возраст на момент исследования составил  $19.1 \pm 0.7$  (от 18 до 21) лет. Данное исследование соответствовало этическим стандартам, разработанным в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 г. № 266. Каждый участник был информирован о цели исследования, подписав согласие на участие в эксперименте.

Для оценки структуры и качества сна использовалась «Анкета балльной оценки субъективных характеристик качества сна» [4], включенная в протокол исследования сомнологического статуса человека, предложенный Центром сомнологических исследований Московской медицинской академии им. И. М. Сеченова. К субъективным характеристикам сна, которые оценивались по пятибалльной системе, относятся: время засыпания и продолжительность сна, количество ночных пробуждений и сновидений, качество сна и утреннего пробуждения. Были выделены две группы испытуемых: группа 1 — без нарушений сна (от 26 баллов по анкете — 11 человек: 6 мужчин и 5 женщин) и группа 2 — с выраженным нарушением сна (18 баллов и менее — 12 человек: 3 мужчин и 9 женщин). Данные психологического тестирования были подтверждены врачами-неврологами, выявившими вегетативные расстройства разного характера в группе студентов с выраженным нарушением сна.

Нами была использована модель фиксированной установки [5], в которой испытуемый решал задачу опознания лицевой экспрессии. На стадии форми-

рования установки одновременно 20 раз предъявляли две фотографии лица одного человека из атласа эмоций [19]: слева — с сердитым, справа — с нейтральным выражением; на стадии тестирования 40 раз экспонировали два «нейтральных» лица. На стадии тестирования испытуемые продолжали оценивать одно из предложенной пары лиц с нейтральным выражением в том или ином числе проб как негативное. Таким образом формировалась установка на восприятие выражения лица.

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.

Осуществлялась многоканальная регистрация электрической активности коры головного мозга. Предъявление стимулов, регистрацию времени реакции при нажатии кнопки и синхронизацию 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 0.5 с: 1 отрезок — перед предъявлением целевого стимула и 4 полсекундных отрезка — в паузе между целевым и пусковым. Осуществляли непрерывное вейвлет-преобразование на основе «материнского» комплексного Morlet-вейвлета в диапазоне 1—35 Гц. Анализировали распределение 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 КВП по стадиям эксперимента для каждого испытуемого: при формировании установки и тестировании ее эффекта по всем пробам. В частотных доменах 4—7.5, 8—10.5, 11—13.5 и 14—20.5 Гц проводили усреднение по частотам. На каждом отрезке длительностью 0.5 с по всем выделенным частотным полосам определяли среднее значение КВП.

Далее по каждому частотному домену из средних значений КВП, полученных в ответ на предъявление лицевых паттернов, вычитали величину КВП в предстимульный период и выражали полученную разность в процентах от этой же (предстимульной) величины. Таким образом, определяли изменение исследуемого показателя КВП в различных экспериментальных ситуациях по отношению к предстимульному периоду.

Мерой, оценивающей взаимодействие бета-ритма (14—20.5 Гц) с ритмами ЭЭГ более низкой частоты (4—7.5, 8—10.5, 11—13.5 Гц соответственно тета-, альфа1- и альфа2-ритмы), являлся коэффициент корреляции Пирсона [5]. Он вычислялся на основе значений средних величин КВП соответствующих ритмов на усредненных четырех полсекундных отрезках ЭЭГ между целевым (пары лиц) и пусковым (точка) стимулами. Коэффициент корреляции изучаемых ритмических диапазонов вычислялся отдельно для групп студентов с инсомнией и без нарушений сна. Статистическая обработка осуществлялась с помощью пакета программ «SPSS, v.11».

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ количества ошибок при опознании лицевой экспрессии у групп студентов с нарушениями сна и полноценным сном выявил существенные различия в эффективности деятельности. На стадии формирования установки, когда испытуемым предъявляли две фотографии одного и того же человека с разным выражением лица, студенты с нарушением сна совершали значительно ( $Z = -2.63, p < 0.01$ ) большее количество ошибок опознания ( $1.8 \pm 0.9$ ) по сравнению с группой студентов, не имеющих нарушений сна, которые все изображения опознавали правильно, не допустив ни одной ошибки на этой стадии исследования. На стадии тестирования установки, когда испытуемым предъявляли одинаковые выражения лиц, значимых различий в эффективности опознания выявлено не было: группа с нарушениями сна допустила  $2.5 \pm 0.8$  ошибок, группа без нарушений сна —  $2.7 \pm 1.1$ .

Исследование взаимодействия ритмов альфа1-, альфа2-, тета- и бета-диапазонов по величине коэффициента корреляции показателя среднего уровня КВП выявило существенные его различия у студентов с нарушениями сна и без таковых. Проведено исследование взаимодействия ритмов при формировании и действии установки на лицевую экспрессию. У группы студентов с нарушениями сна на стадии формирования установки выявлена связь альфа2- и тета-ритмов (табл. 1). Стадия тестирования установки сопровождалась появлением связей между всеми парами исследуемых ритмов (табл. 2). В группе студентов без нарушений сна на стадии формирования установки отмечено достоверное взаимодействие альфа1- и альфа2-ритмов с тета-ритмом, а также альфа2- с бета-ритмом (табл. 1). На стадии тестирования установки у этой группы выявлена только одна связь: альфа2- и бета-ритмов. Следует отметить, что полностью исчезли связи с тета-ритмом (табл. 2).

Межгрупповые различия также выявлены и в состоянии спокойного бодрствования при закрытых глазах. Если у студентов с нарушениями сна показано достоверное взаимодействие только для пар ритмов альфа1- и тета- и альфа2- и тета-, у студентов без нарушений отмечено достоверное взаимодействие всех изучаемых пар ритмов (табл. 3). У студентов с нарушениями сна при спокойном бодрствовании с открытыми глазами отмечалось увеличение ко-

Таблица 1

Корреляция ритмов по коэффициенту вейвлет-преобразования (КВП) у студентов с нарушениями сна и без таковых при формировании установки

Стадия исследования	Ритмы	Группы	По среднему уровню КВП
Формирование установки	Альфа 1-бета	С нарушением сна	—
		Без нарушения сна	—
	Альфа 2-бета	С нарушением сна	—
		Без нарушения сна	$r = 0.63, p = 0.038$
	Тета-Бета	С нарушением сна	—
		Без нарушения сна	—
Альфа 1-тета	С нарушением сна	—	
	Без нарушения сна	$r = 0.78, p = 0.004$	
Альфа 2-тета	С нарушением сна	$r = 0.62, p = 0.036$	
	Без нарушения сна	$r = 0.62, p = 0.042$	

Таблица 2

Корреляция ритмов по коэффициенту вейвлет-преобразования (КВП) у студентов с нарушениями сна и без таковых при формировании установки

Стадия исследования	Ритмы	Группы	По среднему уровню КВП
Тестирование установки	Альфа 1-бета	С нарушением сна	$r = 0.73, p = 0.007$
		Без нарушения сна	—
	Альфа 2-бета	С нарушением сна	$r = 0.85, p = 0.0005$
		Без нарушения сна	$r = 0.82, p = 0.0019$
	Тета-Бета	С нарушением сна	$r = 0.66, p = 0.018$
		Без нарушения сна	—
	Альфа 1-тета	С нарушением сна	$r = 0.91, p = 0.00004$
		Без нарушения сна	—
	Альфа 2-тета	С нарушением сна	$r = 0.84, p = 0.0006$
		Без нарушения сна	—

личества достоверно связанных пар ритмов за счет образования связей с бета-ритмом: альфа2-бета и тета-бета. В группе студентов без нарушений сна на первый взгляд сохранилось сходное с предыдущим состоянием взаимодействие ритмов. При этом отмечалось усиление корреляционных связей ритмов по сравнению с ситуацией с закрытыми глазами (табл. 4).

Сопоставление результатов по величине корреляционных связей в ситуации спокойного бодрствования с закрытыми глазами затруднительно из-за большой разницы в количестве связанных пар ритмов у исследуемых групп студентов. В ситуации с открытыми глазами можно заметить значительно превосходящие величины коэффициента корреляции ритмов у группы студентов без нарушений сна.

Сравнение коэффициента корреляции среднего уровня КВП различных ритмов у студентов с нарушениями сна при выполнении когнитивного зада-

Таблица 3

Корреляция ритмов по коэффициенту вейвлет-преобразования (КВП) у студентов с нарушениями сна и без таковых в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами

Стадия исследования	Ритмы	Группы	По среднему уровню КВП
Фон глаза закрыты	Альфа 1-бета	С нарушением сна	—
		Без нарушения сна	$r = 0.69, p = 0.018$
	Альфа 2-бета	С нарушением сна	—
		Без нарушения сна	$r = 0.89, p = 0.0002$
	Тета-Бета	С нарушением сна	—
		Без нарушения сна	$r = 0.78, p = 0.005$
	Альфа 1-тета	С нарушением сна	$r = 0.75, p = 0.007$
		Без нарушения сна	$r = 0.71, p = 0.014$
	Альфа 2-тета	С нарушением сна	$r = 0.75, p = 0.008$
		Без нарушения сна	$r = 0.67, p = 0.024$

Таблица 4

Корреляция ритмов по коэффициенту вейвлет-преобразования (КВП)  
у студентов с нарушениями сна и без таковых  
в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами

Стадия исследования	Ритмы	Группы	По среднему уровню КВП
Фон глаза открыты	Альфа 1-бета	С нарушением сна Без нарушения сна	— $r = 0.69, p = 0.018$
	Альфа 2-бета	С нарушением сна Без нарушения сна	— $r = 0.89, p = 0.0002$
	Тета-Бета	С нарушением сна Без нарушения сна	— $r = 0.78, p = 0.005$
	Альфа 1-тета	С нарушением сна Без нарушения сна	$r = 0.75, p = 0.007$ $r = 0.71, p = 0.014$
	Альфа 2-тета	С нарушением сна Без нарушения сна	$r = 0.75, p = 0.008$ $r = 0.67, p = 0.024$

ния с состоянием спокойного бодрствования показало, что когнитивная деятельность сопровождается уменьшением числа связей ритмов к стадии формирования установки, а на стадии тестирования, наоборот, отмечен значительный рост связей изучаемых ритмов.

Студенты без нарушений сна продемонстрировали постепенное уменьшение количества связей между ритмами от состояния спокойного бодрствования к заданию на распознавание эмоционального выражения лица.

Таким образом, спокойное бодрствование у студентов с нарушениями сна по сравнению со студентами без этих нарушений характеризовалось отсутствием связей медленных ритмов с бета-ритмом при закрытых глазах и несколько меньшим их числом при открывании глаз. Когнитивное задание на распознавание эмоционального выражения лица показало противоположный характер связей ритмов: у студентов с нарушениями сна количество связей сильно возрастало от стадии формирования установки к ее тестированию, тогда как у студентов с хорошим сном — наоборот, существенно уменьшалось.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В проведенном исследовании студенты с нарушениями сна на стадии формирования установки, когда предъявляли пары лиц с разным выражением, совершали до 10 ошибок опознания, в то время как хорошо спящие студенты не допускали ошибок на этой стадии эксперимента. Полученный факт согласуется с данными W. Killgore [25, 26], где получены сходные результаты. На стадии тестирования студенты обеих групп допускали приблизительно одинаковое число ошибок опознания.

Обследуемые группы студентов с нарушениями сна и без таковых характеризовались различным взаимодействием тета-, альфа- и бета-ритмов ЭЭГ. При спокойном бодрствовании, когда глаза испытуемых были закрыты, показано достоверное взаимодействие всех изучаемых пар ритмов по показателю коэффициента корреляции средних значений КВП у студентов без патологии

сна, тогда как у студентов с нарушениями сна выявлено взаимодействие только альфа- и тета-ритмов. Вероятно, испытуемые с хорошим сном до конца не расслаблялись (о чем может свидетельствовать связь с бета-ритмом) и пытались настроиться на будущую деятельность. В то же время студенты с нарушениями сна, предположительно, использовали это время для отдыха и дремоты (вероятно, здесь наличие связи альфа- и тета-ритмов имело отношение к первой фазе сна). Как известно, нарушение цикла сон—бодрствование происходит на фоне дисбаланса восходящих влияний со стороны ретикулярной формации, гипоталамуса и лимбических структур мозга и нисходящих тормозных из лобных отделов коры на центры сна заднего гипоталамуса [1, 2, 40]. Вероятно, у студентов с нарушениями сна при закрытых глазах ослаблялся приток внешней информации, снижающий активацию ретикулярной формации, что влекло за собой ослабление влияния префронтальной коры на лимбико-гипоталамическую систему. Это все могло привести к дремотному состоянию. Открывание глаз при спокойном бодрствовании выявило сходный характер взаимодействия ритмов в обеих группах испытуемых. При этом они отличались количественными показателями величин корреляционных связей: у студентов с нарушениями сна они слабее. Это в определенной мере согласуется с работой [33] о снижении мощности альфа-ритма у больных инсомнией в состоянии спокойного бодрствования. Сходство взаимодействия ритмов в группах достигалось за счет подключения бета-ритма к медленным ритмам (альфа и тета) в группе студентов с нарушениями сна, тем самым достигая состояния готовности (большей активации) к выполнению задания подобно студентам без нарушений сна. Вероятно, в этом случае произошло увеличение активации подкорковых структур, облегчающих передачу сигналов из внешнего мира в кору.

Формирование и действие установки на эмоциональное выражение лица выявило различие обеспечивающих ее мозговых механизмов у разных групп студентов. В наших предыдущих работах была показана достоверная связь бета-ритма с альфа- и тета-ритмами по показателю кросскорреляции при формировании и действии установки у здоровых испытуемых [6]. Поскольку альфа-ритм традиционно связывается с функционированием таламокортикальной системы, тета- — кортикогиппокампальной, а бета-ритм — как с активностью коры, так и подкорковых структур, в частности, неспецифических ядер таламуса и гиппокампа [12, 21], было выдвинуто предположение об участии бета-ритма в деятельности вышеуказанных корково-подкорковых структур. Студенты с нарушениями сна на стадии формирования установки показали обедненные связи ритмов: выявлена только взаимосвязь альфа2- и тета-ритмов. При этом они делали большое количество ошибок опознания лицевой экспрессии, что было неожиданно для нас, поскольку на этой стадии эксперимента здоровые испытуемые практически не совершали ошибок. Ошибки опознания в данного рода задании, скорее всего, были связаны с недостаточной концентрацией внимания на стимулах и ухудшением их запоминания. Это согласуется с работой М. Miller, в которой показано снижение активности в таламокортикальных сетях, обеспечивающих процессы внимания [29]. В работе F. Siebenhuhner и соавт. показано взаимодействие тета- и альфа-гамма-ритмов при выполнении заданий на зрительную рабочую память [39]. В нашем случае повторение стимулов, возможно, приводило к запоминанию и соответственно подключению рабочей памяти. Тета-ритм в данном задании, возможно, связан как с восприятием эмоционального выражения лица, так и предъявлением повторяющихся стимулов [7, 22]. Вероятно, отсутствие связей медленных ритмов с бета-ритмом не обеспечило достаточный уровень



активации как таламокортикальной системы, так и кортикогиппокампальной у этой группы испытуемых.

Студенты без нарушений сна демонстрировали связь бета-ритма с альфа- и тета-ритмами на стадии формирования установки. Они не совершали ошибок опознания лицевой экспрессии. Известно, что синхронизация бета- и гамма-ритмов связана с распознаванием образов и процессами избирательного направленного внимания [28, 38]. Вероятно, включение бета-ритма в функционирование как кортикогиппокампального, так и таламокортикального кругов явилось необходимым условием правильного распознавания образов.

На стадии тестирования установки получены неожиданные результаты. По количеству ошибок опознания группы показали приблизительно одинаковые результаты. Но мозговые механизмы, обеспечивающие когнитивную деятельность, были совершенно разные. У студентов с нарушениями сна появились связи бета-ритма с альфа- и тета-ритмами, чего не было на предыдущей стадии эксперимента. Для правильного опознания выражения лиц им потребовалось достаточно «неэкономичное» формирование связей ритмов. Студенты без нарушений сна продемонстрировали связь только альфа2- и бета-ритмов. Отсутствие связей с тета-ритмом может свидетельствовать о снижении активности кортикогиппокампальной системы у этой группы студентов.

Таким образом, правильное распознавание лицевой экспрессии сопровождалось возникновением связи бета-ритма с более медленными ритмами ЭЭГ. Известно, что бета-ритм связан с осуществлением многих когнитивных процессов, в частности с процессом обучения, внимания, памяти [11, 13]. Вероятно, бета-ритм в сочетании с другими ритмами поддерживал необходимый уровень внимания и памяти, позволяющий правильно опознавать эмоциональное выражение лица.

Представленная работа в определенной мере выявила функциональную роль бета-ритма при реализации когнитивной деятельности у студентов с нарушениями сна. Итак, вероятно, объединение бета-ритма с медленными ритмами в единую систему каким-то образом поддерживает оптимальный уровень активации корково-подкорковых систем, необходимый для успешной деятельности субъекта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Студенты с нарушениями сна продемонстрировали разные характеристики взаимодействия ритмов ЭЭГ при выполнении когнитивного задания по сравнению со студентами без нарушений сна.

Студенты с нарушениями сна на стадии формирования установки на лицевую экспрессию совершали до 10 ошибок опознания, тогда как хорошо спящие студенты не совершали ошибок. Стадия формирования установки у студентов с нарушениями сна характеризовалась отсутствием связей медленных ритмов, а именно альфа- и тета- с бета-ритмом. Студенты без нарушений сна продемонстрировали связь альфа-ритма не только с тета-, но и с бета-ритмом.

Стадия тестирования установки не выявила значимых различий по числу ошибок опознания в группах студентов. На стадии тестирования у студентов с нарушениями сна мы увидели, как бета-ритм объединился и с альфа-, и с тета-ритмами, тогда как здоровые студенты, наоборот, сохранили единственную связь альфа2- и бета-ритмов. Полученные результаты позволяют понять функциональную роль связи бета-ритма с медленными ритмами при формировании и действии когнитивной установки на лицевую экспрессию, а также

влияние связи ритмов на эффективность зрительного опознавания у лиц с нарушениями сна.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований № 16-06-01054/17-ОГОН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- [1] *Анохин П. К.* Сновидения и наука. М. Моск. большевик. 1945.
- [2] *Анохин П. К.* Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М. Медицина. 1968.
- [3] *Дорохов В. Б.* Сомнология и безопасность профессиональной деятельности. Журн. высш. нерв. деятельности. 63(1): 33—47. 2013.
- [4] *Левин Я. И., Елигулашвили Т. С., Посохов С. И., Ковров Г. В., Башмаков М. Ю.* Фармакотерапия инсомний: роль имована. В сб.: Расстройства сна. Под ред. Ю. А. Александровского и А. М. Вейна. Мед. информ. агенство. 1995.
- [5] *Узнадзе Д. Н.* Экспериментальные основы психологии установки. Экспериментальные исследования по психологии установки. Тбилиси: Изд-во АН ГССР. 1958.
- [6] *Яковенко И. А., Петренко Н. Е., Черемушкин Е. А., Козлов М. К.* Взаимодействие ритмов ЭЭГ при установке на лицевую экспрессию. Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 103(7): 825—834. 2017.
- [7] *Aftanas L. I., Reva N. V., Varlamov A. A. et al.* Analysis of evoked EEG synchronization and desynchronization in conditions of emotional activation in humans: temporal and topographic characteristics. *Neurosci. Behav. Physiol.* 34: 859—867. 2004.
- [8] *Alhola P., Polo-Kantola P.* Sleep deprivation: Impact on cognitive performance. *Neuropsychiatric Disease Treatment.* 3(5): 553—567. 2007.
- [9] *Altena E., Ramautar J., Van Der Werf Y., Van Someren E.* Do sleep complaints contribute to age — related cognitive decline? G. A. Kerkhof and H. P. A. Van Dongen (eds) *Progress Brain Res.* 185: 181—205. 2010.
- [10] *Baglioni C., Spiegelhalder K., Lombardo C., Riemann D.* Sleep and emotions: a focus on insomnia. *Sleep. Med. Rev.* 14: 227—238. 2010.
- [11] *Bibbig A., Middleton S., Racca C., Gillies M. J., Garner H., LeBeau F. E. N., Davies C. H., Whittington M. A.* Beta rhythms (15—20) generated by nonreciprocal communication in hippocampus. *J. Neurophysiology.* 4: 2812—2823. 2007.
- [12] *Burke J., Zaghoul K., Jacobs J., Williams R., Sperling M., Sharan A., Kahana M.* Synchronous and asynchronous theta and gamma activity during episodic memory formation. *J. Neuroscience* 33: 292—304. 2013.
- [13] *Cannon J., McCarthy M., Lee Sh., Lee J., Borgers Ch., Whittington M., Kopell N.* Review Neurosystems: brain rhythms and cognitive processing. *Eur. J. Neurosci.* 39: 705—719. 2014.
- [14] *Canolty R. T., Knight R.* The functional role of cross — frequency coupling. *Trends Cogn Sci.* 14(11): 506—515. 2010.
- [15] *Chee M., Tan J., Zheng H., Parimal S., Weissman D., Zagorodnov V., et al.* Lapsing during sleep deprivation is associated with distributed changes in brain activation. *J. Neurosci.* 28: 5519—5528. 2008.
- [16] *Cronlein T., Langguth B., Eichhammer P., Busch V.* Impaired recognition of facially expressed emotions in different groups of patients with sleep disorders. 11(4): e0152754. 2016.
- [17] *De Munk J., Goncalves S., Mammoliti R., Heethaar R., Lopes da Silva F.* Interaction between different EEG frequency bands and their effect on alpha — fMRI correlation. *Neuroimage.* 47: 69—76. 2009.
- [18] *Drummond S., Meloy M., Yanagi M., Orff H., Brown G.* Compensatory recruitment after sleep deprivation and the relationship with performance. *Psychiatry Res.* 140: 211—223. 2005.
- [19] *Ekman P., Friesen W.* Pictures of facial affect. Palo Alto (CA). Consult Psychol. Press. 1976.
- [20] *Espie C.* Understanding insomnia through cognitive modelling. *Sleep Med.* 8 (4): 3—8. 2007.

- [21] *Fell J., Klaver P., Lehnertz K., Grunwald T., Schaller C., Elger C., Fernandez G.* Human memory formation is accompanied by rhinal — hippocampal coupling and decoupling. *Nature Neurosci.* 4: 1259—1264. 2001.
- [22] *Guntekin B., Basar E.* A review of brain oscillations in perception of faces and emotional pictures. *Neuropsychology.* 58: 33—51. 2014.
- [23] *Joo E., Noh H. J., Kim J. S., Koo D. L., Kim D., Hwang K. J., Kim J. Y., Kim S. T., Kim M. R., Hong S. B.* Brain gray matter deficits in patients with chronic primary insomnia. *Sleep.* 36: 999—1007. 2013.
- [24] *Kay D., Buysse D.* Hyperarousal and beyond: New insights to the pathophysiology of insomnia disorder through functional neuroimaging studies. *Brain Sci.* 7(23): 1—19. 2017.
- [25] *Killgore W., Balkin T., Yarnell A., Capaldi V.* Sleep deprivation impairs recognition of specific emotions. *Neurobiol. Sleep Circadian Rhythms.* 3: 10—16. 2017.
- [26] *Killgore W.* Effects of sleep deprivation on cognition. G. A. Kerkhof and H. P. A. Van Dongen (eds). *Progress Brain Res.* 185: 105—129. 2010.
- [27] *Kyle S., Morgan K., Espie C.* Insomnia and health-related quality of life. *Sleep Med. Rev.* 14: 69—82. 2010.
- [28] *Linas R., Grace A., Yarom Y.* In vitro neurons in mammalian cortical layer 4 exhibit intrinsic oscillatory activity in the 10- to 50-Hz frequency range. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 88: 897—901. 1991.
- [29] *Miller M., Wright H., Hough J., Cappuccio F.* Sleep and cognition. Idzikowski C. (ed). *Sleep and its Disorders Affect Society.* Tech Publishers. 3—28. 2014.
- [30] *Naughton P., Aggarwal R., Wang T., Van Herzele I., Keeling A., Darzi A. et al.* Skills training after night shift work enables acquisition of endovascular technical skills on a virtual reality simulator. *J. Vascular Surgery.* 53(3): 858—866. 2011.
- [31] *Niculin V., Nolte G., Curio G.* Cross-frequency decomposition. A novel technique for studying interactions between neuronal oscillation with different frequencies. *Clin. Neurophysiology.* 123: 1353—1360. 2012.
- [32] *O'Byrne J., Berman Rosa M., Gouin J., Dang-Vu T.* Neuroimaging findings in primary insomnia. *Pathol. Biol. (Paris).* 62: 262—269. 2014.
- [33] *Orff H. J., Drummond S. P., Nowakowski S., Perils M. L.* Discrepancy between subjective symptomatology and objective neuropsychological performance in insomnia. *Sleep.* 30(9): 1205—1211. 2007.
- [34] *Rodriguez-Martinez 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.* 28: 250—260. 2015.
- [35] *Roopun A. K., Kramer M. A., Carrasedo L. M., Kaiser M., Davies C. H., Traub R. D., Koppel N. J., Whittington M. A.* Temporal interaction between cortical rhythms. *Frontiers in Neuroscience.* 2(2): 145—154. 2008.
- [36] *Sarnthein J., Morel A., von Stein, Jeanmonod D.* Thalamic theta fields potentials and EEG: high thalamocortical coherence in patients with neurogenic pain, epilepsy and movement disorders. *Elsevier. Thalamus Related Systems.* 2: 231—238. 2003.
- [37] *Schanze T., Eckhorn R.* Phase correlation among rhythms present at different frequencies: spectral methods, application to microelectrode recordings from visual cortex and functional implications. *Int. J. Psychophysiol.* 26: 171—189. 1997.
- [38] *Sehatpour P., Molholm S., Schwartz T. H., Mahoney J. R., Mehta A. D., Javitt D. C., Stanton P. K., Foxe J. J.* A human intracranial study of long-range oscillatory coherence across a frontal-occipital-hippocampal brain network during visual object processing. *Proc. Natl. Sci. USA.* 105(11): 4399—4404. 2008.
- [39] *Siebenhuhner F., Wang S. H., Palva J. M., Palva S.* Cross-frequency synchronization connects networks of fast and slow oscillations during visual working memory maintenance. *eLife.* (5): e13451. 2016.
- [40] *Steriade M., McCarley R. W.* Brain control of wakefulness and sleep. Kluwer Academic. 2005.
- [41] *Szentkirályi A., Madarász C. Z., Novák M.* Sleep disorders: Impact on daytime functioning and quality of life. *Exp. Rev. Pharmacoeconomics Outcomes Res.* 9(1): 49—64. 2009.
- [42] *Thomas M., Sing H., Belenky G., Holcomb H., Mayberg H., Dannals R. et al.* Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness. I. Effects of 24 h of sleep deprivation on waking human regional brain activity. *J. Sleep Res.* 9 (4): 335—352. 2000.

[43] *Van der Helm E., Gujar N., Walker M. P.* Sleep deprivation impairs the accurate recognition of human emotion. *Sleep*. 33: 335—342. 2010.

[44] *Voytek B., Canolty R. T., Shestyuk A., Crone N. E., Parvizi J., Knight R. T.* Shifts in gamma phase—amplitude coupling frequency from theta to alpha over posterior cortex during visual tasks. *Front. Human Neurosci.* 4(191): 1—9. 2010.

[45] *Yoo S.-S., Hu P. T., Gujar N., Jolesz F. A., Walker M. P.* A deficit in the ability to form new human memories without sleep. *Nature Neurosci.* 10: 385—392. 2007.

Поступила 26 X 2017  
После доработки 11 IX 2018