



Характеристики электроэнцефалограммы и уровень тревожности при активациях мозга перед пробуждениями из второй стадии дневного сна, сопровождающихся психомоторной активностью

Е.А. Черемушкин, к.б.н., Н.Е. Петренко, к.б.н., В.Б. Дорохов, д.б.н.

Адрес для переписки: Евгений Алексеевич Черемушкин, khton@mail.ru

Для цитирования: Черемушкин Е.А., Петренко Н.Е., Дорохов В.Б. Характеристики электроэнцефалограммы и уровень тревожности при активациях мозга перед пробуждениями из второй стадии дневного сна, сопровождающихся психомоторной активностью. Эффективная фармакотерапия. 2024; 20 (33): 14–17.

DOI 10.33978/2307-3586-2024-20-33-14-17

У 19 здоровых испытуемых исследовали корреляционные связи между уровнем тревожности в сочетании с показателями функционального состояния и характеристиками паттернов активации электроэнцефалограммы (ЭЭГ), которые предшествовали спонтанному пробуждению из второй стадии дневного сна и следующей за ним деятельности. Основные результаты были получены для паттерна активации, начинающегося за 10–20 с до пробуждения и последующего выполнения психомоторного теста, прерванного эпизодом сна. Амплитуда высокоамплитудных низкочастотных колебаний (включая К-комплексы) уменьшалась с увеличением степени выраженности тревожности и снижением уровня настроения. При этом амплитудные характеристики низкочастотного альфа-ритма уменьшались со снижением уровней активности и настроения субъекта перед опытом. Обнаруженные связи характеристик высокоамплитудных низкочастотных колебаний и сопутствующей им низкочастотной альфа-активности ЭЭГ при активациях, предшествующих пробуждению из дневного сна, дают объективную оценку влияния на фрагментацию сна индивидуальности испытуемого и функционального состояния перед засыпанием. Полученные результаты полезны при междисциплинарном подходе к исследованиям нарушений баланса между возбуждением и дезактивацией и их взаимовлияния на состояние бодрствования и сон пациента.

Ключевые слова: активация, тревожность, пробуждение, психомоторный тест, высокоамплитудные низкочастотные колебания ЭЭГ, альфа-ритм

Введение

Нарушения сна как проявление нейробиологического дисбаланса между возбуждением и деактивацией можно рассматривать в качестве трансдиагностического симптома при оценке функционирования мозга и психического здоровья [1]. Концепция, рассматривающая поведение, связанное со сном, как его составную часть, характеризующуюся взаимодействием между поведенческими и нейробиологическими аспектами личности [2, 3], представляется перспективной при исследовании влияния свойств индивидуальности и функционального состояния субъекта перед сном. Высокая коморбидность тревожных расстройств и нарушений сна обуславливает важность исследования взаимовлияния активационных процессов, вовлеченных

в патофизиологию этих нарушений, уровня тревожности субъекта и его функционального состояния [4–6]. Ранее в исследованиях с участием здоровых испытуемых при самопроизвольном пробуждении из второй стадии дневного сна с последующим возобновлением психомоторного теста [7] мы установили: чем тревожнее субъект, тем менее эффективна его деятельность в этих условиях [8]. Кроме того, было показано, что высокоамплитудные низкочастотные колебания (НК) [9] учащаются при пробуждении перед возобновлением деятельности (нажатиями на кнопку и их счетом про себя) по отношению к другим фрагментам дневного сна, что позволило рассматривать их как показатель активации [10]. Было также выявлено, что в 20-секундные периоды перед началом такой психомоторной деятельности присутствуют



два активационных паттерна, включающих НК и альфа-колебания [11]: перед началом нажатий и во временном промежутке 10–20 с до него [12]. При этом амплитудные характеристики НК были выше при более эффективном выполнении теста [13].

Основываясь на этих результатах, мы поставили перед собой цель сопоставить уровень тревожности в сочетании с самооценкой текущего функционального состояния здоровых испытуемых и амплитудные характеристики активационных паттернов ЭЭГ в условиях самопроизвольного пробуждения из дневного сна с последующим возобновлением деятельности.

Задачи исследования включали:

- ✓ оценку дельта- и альфа-амплитудных характеристик в этот период;
- ✓ определение корреляции между этими характеристиками и уровнем тревожности (результаты тестирования по клиническому опроснику тревожности и депрессии, HADS) и функциональным состоянием (опросник САН – самочувствие, активность, настроение).

Материал и методы

В исследовании приняли участие 27 студентов. Средний возраст – $20 \pm 1,1$ года. Все добровольцы были предварительно ознакомлены с процедурой исследования и дали письменное согласие на участие в нем. Исследование соответствовало этическим нормам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г., Правилам клинической практики в Российской Федерации, утвержденным приказом Минздрава России от 19 июня 2003 г. № 266, и заключению локального этического комитета Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН от 2019 г. № 0.043. Для оценки мощностных характеристик биоэлектрической активности коры проводили непрерывное вейвлет-преобразование на основе «материнского» комплексного Morlet-вейвлета. Анализировались 20-секундные отрезки ЭЭГ, предшествовавшие пробуждению из второй стадии сна с полным восстановлением психомоторной деятельности. Полным считали такое выполнение теста, при котором испытуемый после пробуждения правильно выполнял задание первой фазы теста, то есть нажимал десять раз на кнопку, и далее через период времени, соизмеримый с временем счета «про себя» от одного до десяти (около десяти секунд, вторая фаза теста), полностью снова воспроизводил первую фазу.

Карты распределения значений модуля коэффициента вейвлет-преобразования (КВП) строили в полосе 0,5–40 Гц с шагом 0,5 Гц и разрешением по времени 0,01 с. В частотных диапазонах дельта (0,5–3,5 Гц), тета (4–7 Гц), альфа-1 (8–10,5 Гц) и альфа-2 (11–13,5 Гц) и бета-ритмов (14–21 Гц) проводили усреднение КВП по частотам и далее по времени, в односекундных интервалах. В интервалах, где в исходной ЭЭГ присутствовали НК, в том числе К-комплексы, вручную выделяли два максимальных значения в дельта-диапазоне, как минимум в три раза превышающие амплитудные

значения дельта-диапазона соседних временных интервалов. Такие характеристики паттернов активации были выделены у 19 испытуемых. В интервалах с выделенными максимумами амплитудных характеристик дельта-диапазона обрабатывали и амплитудные характеристики других исследуемых ритмов ЭЭГ. Для всех выделенных амплитудно-мощностных характеристик ЭЭГ с помощью коэффициента корреляции Пирсона устанавливали статистическую связь с тревожностью и функциональным состоянием испытуемых.

Результаты

Связь уровня тревожности в сочетании с показателями функционального состояния и электрофизиологическими характеристиками двух активационных паттернов, предшествовавших пробуждению из второй стадии дневного сна, продолжавшегося психомоторной деятельностью, представлена на рис. 1 и 2.

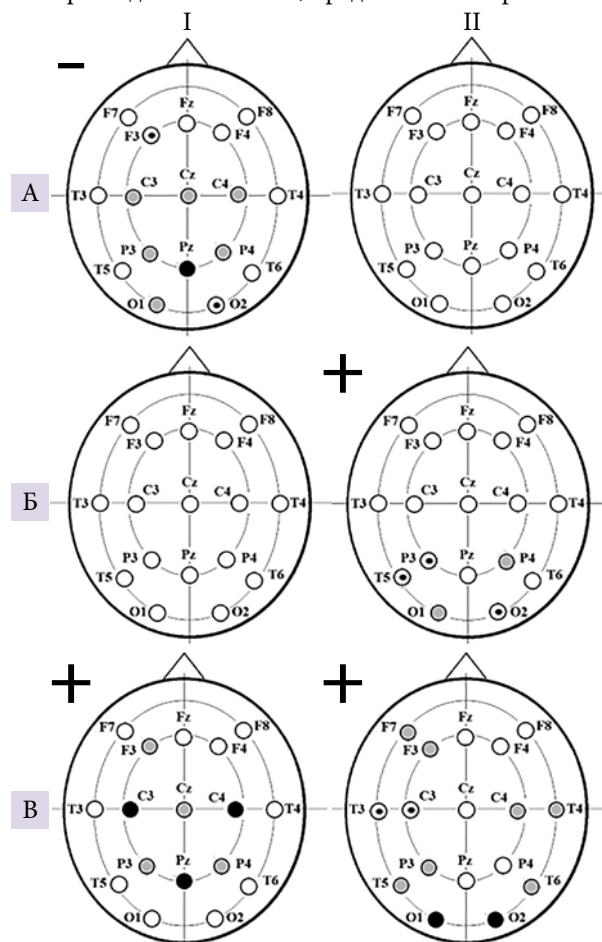


Рис. 1. Карты-схемы корреляционных связей амплитудных характеристик паттерна активации ЭЭГ, предшествовавшего спонтанному пробуждению за 10–20 с до начала нажатий на кнопку, с уровнем тревожности и функциональными характеристиками субъекта перед опытом. I, II – высокоамплитудное низкочастотное колебание и альфа-1-ритм, сопровождавший это колебание, соответственно; А, Б и В – корреляции с самооценкой уровня тревожности, активности и настроения соответственно; знаки «+» и «-» – знак корреляций для всех отведений карты-схемы; черный, серый цвета и знак «точка» условных изображений отведений ЭЭГ – значимость корреляции: $p < 0,01$, $p < 0,05$ и $p < 0,1$ соответственно. Приведены названия отведений ЭЭГ

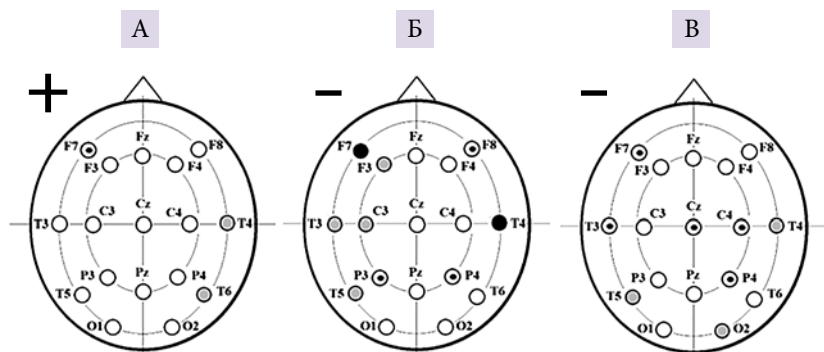


Рис. 2. Карты-схемы корреляционных связей амплитудной характеристики низкочастотного колебания ЭЭГ перед началом нажатий на кнопку после спонтанного пробуждения с уровнем тревожности и функциональными характеристиками субъекта перед опытом. Обозначения, как на рис. 1

Мы отразили на картах-схемах корреляции с уровнем значимости $p < 0,1$ (уровень тенденции), чтобы читатель получил более подробное представление о распространенности исследуемых корреляционных отношений.

Обсуждение

Полученные данные свидетельствуют о существовании корреляционных связей между уровнем тревожности испытуемых в сочетании с самооценкой их функционального состояния перед опытом и амплитудными характеристиками двух последовательных активационных паттернов (АП) ЭЭГ при спонтанных пробуждениях с последующим выполнением психомоторной деятельности. Для первого АП, начавшегося за 10–20 с до начала нажатий на кнопку, показана отрицательная корреляция амплитуды НК, включающих К-комплексы, с уровнем тревожности – билатерально в центральных и каудальных областях коры.

Согласно современным данным литературы, К-комплексы выполняют двойную функциональную роль в обеспечении цикла «сон – бодрствование»: связываются с процессами активации с последующими пробуждениями [10, 11] и стабилизируют сон, защищая от внешних раздражителей. Можно предположить, что более низкая амплитуда НК в первом АП у более тревожных испытуемых свидетельствует об ослаблении функции «защиты» сна, благодаря чему сон становится в целом более фрагментарным и легче нарушается под воздействием внешних или внутренних стимулов. Это укладывается в клиническую картину нарушений сна у больных с тревожными расстройствами [4, 5]. На величину этого НК также влияет настроение испытуемого перед началом эксперимента. Здесь корреляционная связь положительная: с улучшением настроения увеличивается его амплитуда и наоборот – сниженный эмоциональный фон приводит к более низким показателям амплитуды НК.

Как известно, более тревожные люди характеризуются преобладанием сниженного настроения,

ожиданием и постоянным отслеживанием негативных ситуаций во время бодрствования. Считается, что эмоциональные процессы в состоянии бодрствования и во время сна обеспечиваются сходными нейронными субстратами, тем самым обосновывается их сходство в цикле «сон – бодрствование» [14]. В литературе высказывается предположение о преемственности между дневными и ночными переживаниями. В сновидениях во многом отражается позитивный или негативный опыт предыдущего дня, который влияет на качество сна в последующую ночь и зависит от индивидуальных различий в обработке аффективной информации [15]. Например, люди, которые в большей степени испытывали ежедневное беспокойство во время эпидемии COVID-19, сообщали, что переживают больше негативных эмоций во сне [16].

Для первого АП показаны положительные корреляции амплитудных характеристик низкочастотного альфа-ритма, сопровождающего НК с уровнем активности и настроения субъекта перед опытом. Согласно данным литературы, НК может сопровождаться практически всеми общепринятыми в исследованиях ритмами, создавая континуум активационных паттернов [11]. Нами показано, что альфа-ритм сопровождает ранние НК в условиях эффективного восстановления психомоторной деятельности [17]. Мы предполагаем, что этот АП облегчает последующее пробуждение и последующую деятельность в условиях инерции сна. Ранее нами также было показано негативное влияние уровня тревожности на эффективность восстановления деятельности [8]. В настоящем исследовании все субъекты выполняли тест безошибочно. Можно предположить, что положительные корреляции уровня тревожности с амплитудой позднего НК в передней и задней височных областях оптимизируют ресурсы памяти и внимания у более тревожных субъектов при пробуждении. Реципрокные корреляционные связи амплитуды позднего НК и уровней активности и настроения можно объяснить следующим. При сниженном функциональном состоянии субъекта необходим более высокий уровень активации, обеспечивающий переход в бодрствующее состояние и немедленное эффективное возобновление деятельности, прерванной кратковременным эпизодом сна.

Заключение

Обнаруженные связи характеристик высокоамплитудных НК и сопутствующей им низкочастотной альфа-активности ЭЭГ при активациях, предшествовавших пробуждению из дневного сна, с уровнем тревожности и показателями функционального состояния субъекта перед сном дает объективную оценку влияния на фрагментацию сна индивидуальности испытуемого. Полученные результаты полезны при междисциплинарном подходе к исследованиям нарушений баланса между возбуждением и дезактивацией и их взаимовлияния на состояние бодрствования и сон пациента. *



Литература

1. Palagini L., Hertenstein E., Riemann D., et al. Sleep, insomnia and mental health. *J. Sleep Res.* 2022; 31(4): e13628.
2. Tubbs A.S., Dollish H.K., Fernandez F., et al. The basics of sleep physiology and behavior. *Sleep and health* / Ed. Michael A. Grandner. Academic Press, 2019; 3–10.
3. Parrino L., Halasz P., Szucs A., et al. Sleep medicine: practice, challenges and new frontiers. *Front. Neurol.* 2022; 13: 966659.
4. Полуэктов М.Г., Пчелина П.В. Расстройства сна и тревога. Эффективная фармакотерапия. *Неврология и психиатрия. Спецвыпуск «Сон и его расстройства – 5».* 2017; 35: 80–89.
5. Chellappa S.L., Aeschbach D. Sleep and anxiety: from mechanisms to interventions. *Sleep Med. Rev.* 2022; 61: 101583.
6. Mendonça F., Mostafa S.S., Gupta A., et al. A-phase index: an alternative view for sleep stability analysis based on automatic detection of the A-phases from the cyclic alternating pattern. *Sleep.* 2023; 46 (1): zsc217.
7. Dorokhov V.B., Malakhov D.G., Orlov V.A., et al. Experimental model of study of consciousness at the awakening: fMRI, EEG and behavioral methods. In: *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2018: Proceedings of the Ninth Annual Meeting of the BICA Society.* Springer. 2019; 82–87.
8. Cheremushkin E.A., Petrenko N.E., Dorokhov V.B. EEG Characteristics and Anxiety Levels in Subjects with Different Levels of Success in Recovering Psychomotor Activity on Waking During Daytime Sleep. *Neurosci. Behav. Physiol.* 2022; 52: 562–567.
9. Bernardi G., Siclari F., Handjaras G., et al. Local and widespread slow waves in stable NREM sleep: evidence for distinct regulation mechanisms. *Front. Hum. Neurosci.* 2018; 2: 248.
10. Dorokhov V.B., Tkachenko O.N., Taranov A.O., et al. Episodic memory causes a slow oscillation of EEG, awakening and performance recovery from sleep episodes during monotonous psychomotor test. *European Physical Journal Special Topics.* 2024; 233(3):589–599.
11. Halász P., Terzano M., Parrino L., Bódizs R. The nature of arousal in sleep. *J. Sleep Res.* 2004; 13 (1): 1–23.
12. Cheremushkin E.A., Petrenko N.E., Gendzhaliyeva M.S., et al. EEG characteristics during short-term spontaneous waking periods of different durations with changes in psychomotor activity induced by falling asleep. *Neurosci. Behav. Physiol.* 2020; 50: 1232–1238.
13. Черемушкин Е.А., Петренко Н.Е., Дорохов В.Б. Изменения характеристик дельта-колебаний и бета-ритма на электроэнцефалограмме при самопроизвольном пробуждении из второй стадии дневного сна с последующим выполнением психомоторной деятельности разной длительности. *Эффективная фармакотерапия.* 2023; 19 (38): 6–11.
14. Sterpenich V., Perogamvros L., Tononi G., et al. Fear in dreams and in wakefulness: evidence for day/night affective homeostasis. *Hum. Brain Mapp.* 2020; 41 (3): 840–850.
15. Picard-Deland C., Konkoly K., Raider R., et al. The memory sources of dreams: serial awakenings across sleep stages and time of night. *Sleep.* 2023; 46 (4): zsc292.
16. Sikka P., Tuominen J., Ezquerro Nassar A., et al. COVID-19 on mind: Daily worry about the coronavirus is linked to negative affect experienced during mind-wandering and dreaming. *Emotion.* 2024; 24 (1):177–195.
17. Черемушкин Е.А., Петренко Н.Е., Генджалиева М.С. и др. ЭЭГ активность мозга, предшествующая спонтанному восстановлению психомоторной деятельности после эпизодов микросна. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова.* 2019; 105 (8): 1002–1012.

EEG Characteristics and Anxiety Level During Brain Activations Before Awakenings from the Second Stage of Daytime Sleep Accompanied by Psychomotor Activity

Ye.A. Cheremushkin, PhD, N.Ye. Petrenko, PhD, V.B. Dorokhov, PhD

Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology RAS

Contact person: Yevgeny A. Cheremushkin, khthon@mail.ru

In 19 healthy subjects, correlations of anxiety level in combination with indicators of functional state and characteristics of EEG activation patterns that preceded spontaneous awakening from the 2nd stage of daytime sleep and the following activity were investigated. The main results were obtained for an activation pattern beginning 10–20 s before awakening and subsequent performance of a psychomotor test that was interrupted by a sleep episode. The amplitude of high-amplitude low-frequency oscillations (including K-complexes) decreased with increasing anxiety severity and decreasing mood level. At the same time, the amplitude characteristics of the low-frequency alpha rhythm decreased with decreasing levels of activity and mood of the subject before the experience. The observed relationships between the characteristics of high-amplitude low-frequency oscillations and accompanying low-frequency alpha EEG activity during activations preceding awakening from daytime sleep provide an objective assessment of the influence on sleep fragmentation of the subject's personality and functional state before falling asleep. The findings are useful in an interdisciplinary approach to investigating disturbances in the balance between arousal and deactivation and their reciprocal effects on a patient's wakefulness and sleep.

Keywords: activation, anxiety, awakening, psychomotor test, high-amplitude low-frequency EEG oscillations, alpha rhythm