



# Спектральные характеристики электроэнцефалограммы при выполнении заданий разного уровня сложности во время засыпания перед эпизодом дневного сна

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. Спектральные характеристики электроэнцефалограммы при выполнении заданий разного уровня сложности во время засыпания перед эпизодом дневного сна. Эффективная фармакотерапия. 2023; 19 (41): 26–31.

DOI 10.33978/2307-3586-2023-19-41-26-31

*Исследование нейрофизиологических коррелятов перехода от бодрствования ко сну, который сопровождается деятельностью, имеет диагностическую ценность для определения уровня бдительности и связанных с ней ресурсов внимания при бессоннице и неврологических нарушениях. У 24 взрослых здоровых испытуемых исследовали когнитивную деятельность разной сложности при засыпании во время первой стадии дневного сна. Использовали психомоторный тест из двух последовательных заданий: паттерна счета в уме от одного до десяти с синхронными нажатиями на кнопку одной рукой и паттерна счета без нажатий. Анализировали спектральные характеристики электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в начале выполнения теста (контроль), при первой ошибке в паттерне нажатий (меньше десяти) и перед длительным (полторы минуты и более) эпизодом сна. Сравнивали отрезки ЭЭГ: 1) при счете в уме (простое задание); 2) при счете в уме с синхронными нажатиями (сложное задание). На ранней стадии засыпания (в ситуации первой ошибки) показано генерализованное снижение альфа- и бета-ритмов при выполнении простого задания и локальное (в каудальных областях коры мозга) – при сложном. На стадии, предшествовавшей сну, по сравнению с ранней стадией засыпания изменения ЭЭГ во время простого задания отсутствовали. Сложное задание сопровождалось увеличением мощности альфа- и бета-ритмов в передних, центральных и теменных областях коры мозга. Мы предполагаем, что при углублении сонливости и снижении бдительности периодическая дополнительная моторная деятельность, сопровождающая счет в уме, поддерживает мозг в относительно бодрствующем состоянии.*

**Ключевые слова:** сон, дневной сон, засыпание, психомоторный тест, монотония, ЭЭГ

**И**сследование электрофизиологических характеристик мозговой активности перехода от бодрствования ко сну, сопровождаемого поведенческой и когнитивной активностью, имеет определенную диагностическую ценность для оценки трудностей засыпания разной этиологии [1, 2]. Наряду с этим в клинической практике актуально определение уровня бдительности и связанных с ней ресурсов внимания при бессоннице и неврологических нарушениях [3]. Нейрофизиологические корреляты при засыпании хорошо изучены у здоровых субъектов и пациентов с патологией [2, 4]. Вместе с тем исследований с использованием деятельности в качестве теста, оценивающего состояние человека при переходе от бодрствования ко сну, немного. Это работы по изучению состояния монотонии, которое возникает при длительной однообразной работе и может

приводить к эпизодам засыпания [5]. При выполнении испытуемыми задачи по логическому принятию решений из двух вариантов в состоянии депривации на основании синхронных записей функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) и электроэнцефалографии (ЭЭГ) показаны частые вторжения тета-ритма, связываемые с засыпанием, в картину биоэлектрической активности, которая характерна для выполняемой когнитивной задачи. Этот ритм был наиболее выражен в лобных и теменных отделах мозга [6]. В экспериментальной модели, исследующей процессы засыпания без воздействия внешними сенсорными стимулами, одновременно регистрировались ЭЭГ, характеристики дыхания и поведенческие данные (сила сдавливания мячика рукой, фиксация момента начала сна, когда испытуемый выронит его) [7]. Использование поведения, а именно постукиваний паль-



цем и нажатий на кнопку (теппинг-тест) для определения момента засыпания, предлагалось и ранее [8]. В нашей лаборатории для моделирования засыпания во время операторской деятельности проводились опыты с использованием психомоторного теста [9]. Ошибочная реализация заданий теста (в унимануальной, то есть с нажатиями на кнопку одной рукой, модификации), оцениваемая как дремотное состояние, сопровождалась ростом мощности тета-ритма на ЭЭГ. Эпизоды деятельности без ошибок, рассматриваемые как бодрствующее состояние, приводили к росту альфа-ритма [10]. Однако в данной работе больше внимания уделялось созданию статистической модели засыпания оператора, а не детальному исследованию нейрофизиологических коррелятов выполнения деятельности при переходе от бодрствования ко сну.

*Цель* нашего исследования – проанализировать, как сложная и простая фазы психомоторного теста (счет в уме, сопровождаемый синхронными нажатиями на кнопку, и только счет в уме соответственно) отражаются в биоэлектрической активности разных областей ее отведения в начале и конце засыпания. *Задачи* исследования – сравнить мощностные характеристики ЭЭГ в начале деятельности с ЭЭГ при первом паттерне психомоторной деятельности с ошибкой с последним паттерном деятельности, предшествовавшим эпизоду сна, а также сравнить характеристики ЭЭГ эпизодов деятельности с первой и последней ошибкой при засыпании.

## Материал и методы

В исследовании участвовали 34 практически здоровых лица – студенты московских вузов (26 женщин и 8 мужчин, возраст от 19 до 22 лет). Они были ознакомлены с процедурой опыта и дали согласие на участие в нем. Исследование было одобрено этической комиссией Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН (протокол № 2 от 3 июня 2019 г.) и соответствовало этическим нормам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. Время эксперимента – с 13.00 до 16.00. Выполнение психомоторного теста с эпизодами сна – от 55 минут до 1 часа 10 минут. На протяжении всего опыта испытуемые находились в затемненном звукоизолирующем помещении в положении лежа на кушетке с закрытыми глазами. В течение 5 минут проводили запись ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования. С помощью унимануального (с нажатиями на кнопку одной рукой) психомоторного теста [9] получали ряд последовательных периодов засыпания и пробуждения. Испытуемые считали в уме от одного до десяти и синхронно нажимали закрепленную на указательном пальце кнопку большим пальцем правой руки (первая фаза теста). Далее они продолжали считать в уме от одного до десяти без нажатий (вторая фаза). Чередование счета с нажатиями и без нажатий продолжалось, пока испытуемые не засыпали. После эпизода сна и последующего самопроизвольного пробуждения они должны были возобновить выполнение заданий психомоторного теста с первой фазы. Испытуемых, ко-

торые не засыпали или засыпали и не просыпались до конца опыта, исключали из исследования.

В течение опыта с поверхности головы регистрировали ЭЭГ от 17 отведений, расположенных в соответствии со схемой 10–20% (F3, F4, F7, F8, Fz, C3, C4, Cz, T3, T4, P3, P4, Pz, T5, T6, O1, O2). Отведение монополярное, референтный электрод – объединенный ушной. Кроме того, записывали электроокулограмму (ЭОГ), миограмму (ЭМГ) и механограмму нажатий на кнопку. Регистрацию всех показателей проводили с помощью системы Neocortex-Pro (Neurobotics, Россия). Частота дискретизации – 250 Гц. Полоса пропускания частот – 0,5–70 Гц. ЭЭГ регистрировали с помощью шлема с хлорсеребряными электродами с сопротивлением, не превышающим 5 КОм.

После визуального анализа полисомнограмм и механограмм выделяли испытуемых, на ЭЭГ которых наблюдались периоды засыпания (n = 24). Для анализа выбирали 30-секундные отрезки записи ЭЭГ в трех ситуациях:

- 1) эпизод выполнения психомоторного теста в начале эксперимента (контроль, состояние полной бдительности);
- 2) первый эпизод ошибочного выполнения заданий психомоторного теста (ранняя стадия засыпания);
- 3) выполнение психомоторного теста непосредственно перед наступлением первого эпизода сна (поздняя стадия).

Для ситуации 3 выбирали отрезки, за которыми следовал эпизод сна не менее 1,5 минуты. Принадлежность участков ЭЭГ к периоду начала сна (sleep onset) оценивали визуально по стандартным критериям Американской академии медицины сна (AASM) [11]. Дополнительным критерием считали отсутствие на механограмме признаков нажатий на кнопку.

Для оценки мощностных характеристик биоэлектрической активности коры проводили неинвазивное вейвлет-преобразование на основе «материнского» комплексного Morlet-вейвлета (Matlab 78.01, для скриптов использовались параметры, представленные в работе С. Tallon-Baudry и соавт. [12]). 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 тета- (4–7 Гц), альфа-1- (8–10,5 Гц), альфа-2- (11–13,5 Гц) и бета-диапазонах (14–21 Гц) усредняли КВП по частоте. Далее на основании визуального анализа механограмм внутри исследуемых 30-секундных интервалов усредняли эпизоды с нажатиями на кнопку и без нажатий по отдельности.

Полученные амплитудно-мощностные характеристики ЭЭГ анализировали с помощью дисперсионного анализа (ANOVARM). Рассматривали влияние на них факторов:

- ✓ «ситуация» – три уровня (начало выполнения теста (ситуация 1), первая ошибка во время паттерна нажатий (ситуация 2), последний паттерн нажатий перед засыпанием (ситуация 3));
- ✓ «деятельность» – два уровня (счет в уме с нажатиями и без нажатий);
- ✓ «отведение» – 17 уровней (по числу отведений).



Анализ осуществляли для каждого из исследуемых частотных диапазонов. Все результаты получали с использованием поправки Гринхауза – Гессера. Для выбранных на основании результатов дисперсионного анализа частотных диапазонов для каждого отведения ЭЭГ с помощью парного критерия Стьюдента оценивали значимость изменений амплитудно-мощностных характеристик отдельно для интервалов с нажатиями и без нажатий между ситуациями 1 и 2, 2 и 3, 1 и 3. Все статистические вычисления проводили с использованием пакета программ SPSS 13.0.

### Результаты

Паттерн нажатий с первой ошибкой и паттерн нажатий, предшествовавший длительному (полторы минуты и более) эпизоду сна, наблюдали после начала выполнения психомоторного теста через  $M = 9,37 \pm 1,29$  и  $M = 15,92 \pm 2,01$  минуты соответственно. Промежуток между ними составил  $M = 6,61 \pm 1,36$  минуты. Определяли период времени последнего появления адекватного паттерна нажатий, чтобы оценить период с колебаниями в правильности выполнения нажатий. Он продолжался  $M = 4,98 \pm 1,16$  минуты, после него наблюдался период только ошибочных паттернов  $M = 1,63 \pm 0,33$  минуты (приведены средние значения с ошибкой среднего). Результаты дисперсионного анализа (ANOVARM) амплитудных характеристик биоэлектрической активности во всех исследуемых диапазонах ЭЭГ представлены в таблице.

Фактор «ситуация» оказывает значимое влияние на все исследуемые ритмы ЭЭГ. Изолированное влияние фактора «деятельность» выявлено для обоих поддиапазонов альфа- и бета-ритмов. Совместное влияние факторов «ситуация и деятельность» установлено для большинства исследуемых диапазонов, кроме тета-ритма. Кроме того, в большинстве диапазонов выявлено совместное влияние фактора «отведение» с факторами «деятельность» и «ситуация». Этот

Результаты дисперсионного анализа (ANOVA RM) для спектральных характеристик исследуемых диапазонов ЭЭГ

Ритм ЭЭГ	Факторы дисперсионного анализа для характеристик			
	тета	альфа-1	альфа-2	бета
Ситуация	F(2,25) = 5,8 p = 0,009	F(2,25) = 5,06 p = 0,014	F(2,25) = 9,3 p = 0,001	F(2,25) = 6,5 p = 0,005
Деятельность	–	F(1,26) = 8,4 p = 0,007	F(1,26) = 6,48 p = 0,017	F(1,26) = 9,7 p = 0,004
Ситуация* Деятельность	–	F(2,25) = 7,48 p = 0,003	F(2,25) = 7,7 p = 0,002	F(2,25) = 11,8 p = 0,0001
Ситуация* Отведение	F(4,114) = 3,5 p = 0,007	F(3,73) = 7,3 p = 0,0001	F(2,65) = 11,6 p = 0,0001	F(3,80) = 6,4 p = 0,001
Деятельность* Отведение	F(3,85) = 3,6 p = 0,014	–	F(2,62) = 3,3 p = 0,036	F(3,68) = 5,06 p = 0,005
Ситуация* Деятельность* Отведение	–	F(3,75) = 6,7 p = 0,001	F(3,82) = 5,46 p = 0,002	F(4,110) = 5,4 p = 0,0001

\* Взаимодействие факторов.

Примечание. В графах приведены степени свободы, значения критерия Фишера и уровни достоверности дисперсионного анализа влияния соответствующих факторов и их взаимодействия на характеристики значений мощности данных ритмов.

факт дал нам возможность исследовать региональные различия изменений в ритмической активности в зависимости от ситуации и фазы психомоторного теста. Статистическая оценка изменений мощностных характеристик ритмов ЭЭГ по отведениям между состоянием полной бдительности и первым ошибочным эпизодом выполнения психомоторного теста приведена на рис. 1. В каудальных областях отведения ЭЭГ период нажатий на кнопку сопровождается ростом мощности тета-ритма и уменьшением альфа- и бета-ритма. Для ситуации счета в уме без нажатий показано генерализованное снижение мощности в альфа- и бета-диапазоне ЭЭГ.

На рис. 2 представлены различия между ситуациями полной бдительности и последним эпизодом деятель-

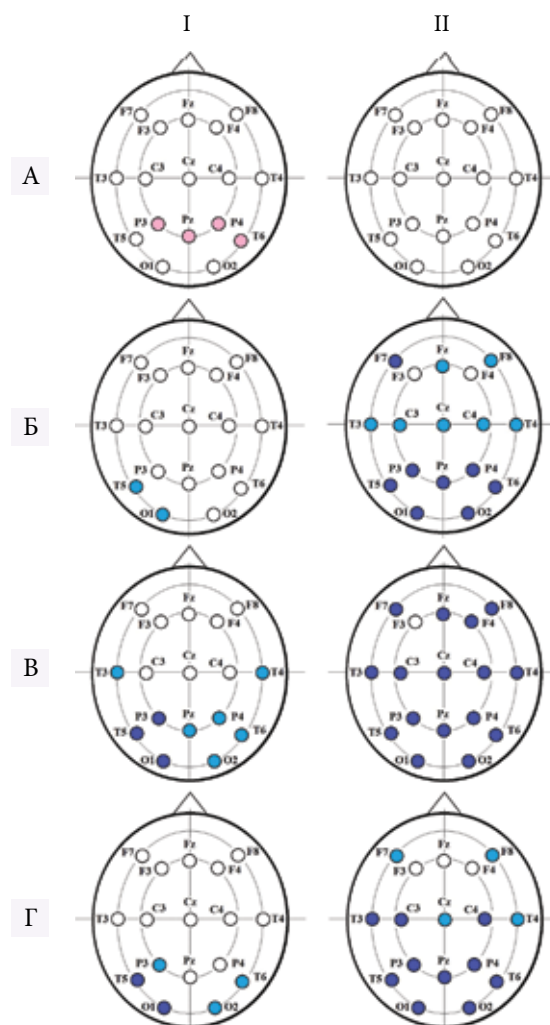


Рис. 1. Карты-схемы изменения мощности ритмов ЭЭГ от состояния полной бдительности испытуемого в начале опыта к первому случаю ошибочного выполнения психомоторного теста в зависимости от его заданий (I – счет в уме с синхронными нажатиями, II – только счет в уме; А, Б, В, Г – тета-, альфа-1-, альфа-2- и бета-ритмы соответственно; синие и красные круги – значимость изменений  $p < 0,01$ ; голубые и розовые –  $p < 0,05$  соответственно; красные и розовые круги – рост мощности; синий и голубой – снижение. Приведены названия отведений ЭЭГ)



ности перед засыпанием. В периоде с нажатиями тета-ритм возрастает в центральных, передневисочных и каудальных областях. Альфа-1- и бета-ритмы незначительно увеличиваются в переднецентральных областях коры. Альфа-2 снижается в затылочных и нижневисочных зонах. Счет в уме без нажатий сопровождается ростом альфа-1-, снижением альфа-2- и бета-ритмов. Эти различия наблюдаются практически по всей коре. Результаты анализа изменений мощностных характеристик ЭЭГ между ситуацией первой ошибки испытуемого и ситуацией выполнения психомоторного теста перед засыпанием приведены на рис. 3. Различия обнаружены только при нажатиях на кнопку. Рост мощности альфа- и бета-ритмов показан в переднецентральных областях и теменной коре.

**Обсуждение**

Мощностные характеристики тета-, альфа- и бета-ритмов изменяются в зависимости от двух исследуемых факторов: сложности заданий психомоторного теста (счета в уме с синхронными нажатиями на кнопку и без нажатий) и периодов засыпания, которые характеризуются разной степенью сонливости и бдительности.

Эти задания выполнялись в затемненном помещении в положении лежа с закрытыми глазами, поэтому мы предполагали, что у большинства обследуемых уровень бдительности по мере осуществления деятельности будет быстро снижаться, увеличится сонливость, вплоть до засыпания, такие изменения отразятся как в поведенческих, так и в биоэлектрических характеристиках. Наше исследование подтвердило эти предположения. В ситуации первой ошибки выполнения психомоторной деятельности (уменьшение числа нажатий в паттерне) по сравнению с деятельностью в начале эксперимента наблюдалось увеличение мощности тета-колебаний, снижение альфа- и бета-ритмов. При счете и синхронных нажатиях увеличение тета-ритма и сни-

дуемых факторов: сложности заданий психомоторного теста (счета в уме с синхронными нажатиями на кнопку и без нажатий) и периодов засыпания, которые характеризуются разной степенью сонливости и бдительности.

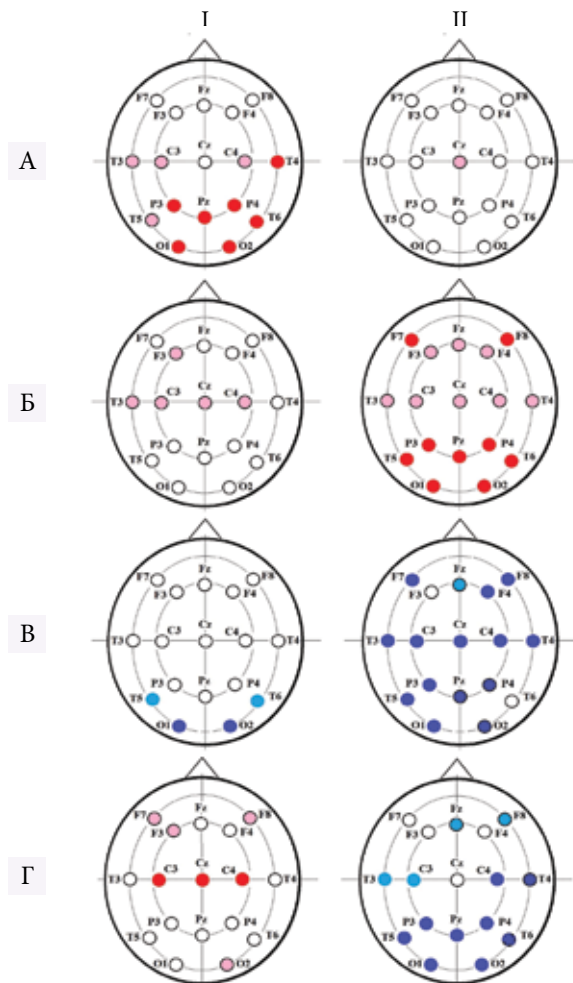


Рис. 2. Карты-схемы изменения мощности ритмов ЭЭГ от состояния полной бдительности испытуемого в начале опыта к последнему перед сном эпизоду выполнения психомоторного теста в зависимости от его заданий (условные обозначения, как на рис. 1)

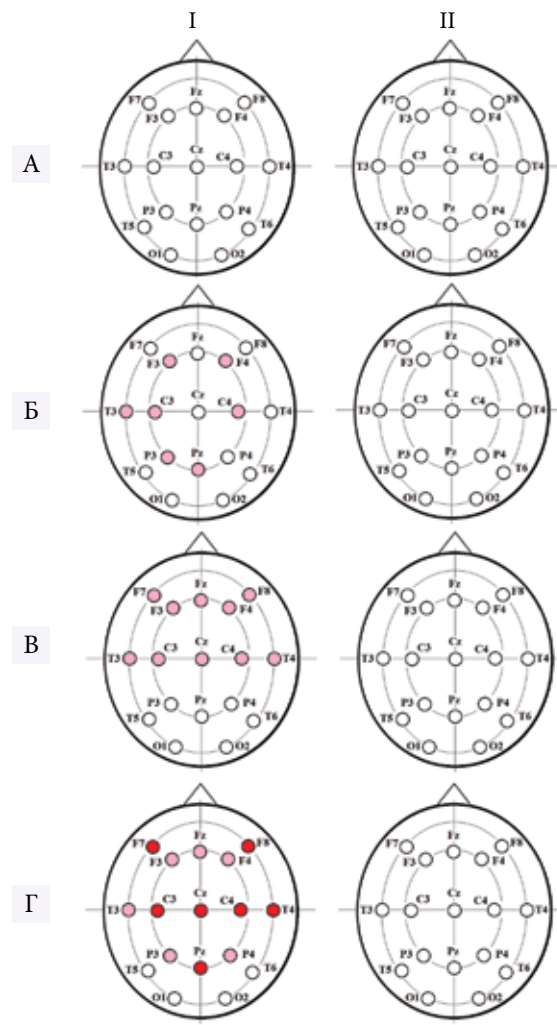


Рис. 3. Карты-схемы изменений мощности ритмов ЭЭГ от первой ошибки испытуемого к последнему перед сном эпизоду выполнения психомоторного теста в зависимости от его заданий (условные обозначения, как на рис. 1)



жение альфа- и бета-ритмов носили локальный характер и обнаруживались в каудальных областях коры. При мысленном счете без нажатий, который следовал за паттерном нажатий с ошибкой, изменения альфа- и бета-ритмов носили генерализованный характер. Снижение мощности высокочастотных составляющих ЭЭГ с одновременным ростом тета-ритма связано с усилением сонливости [13–15]. Появление ошибки (уменьшение числа нажатий в паттерне) можно рассматривать как поведенческий маркер снижения уровня бдительности, и при выполнении более простой задачи (мысленный счет без нажатий) это явление более выражено. Дополнительная моторная деятельность требует большей активации. При этом ЭЭГ-характеристики начальной стадии засыпания носят локальный характер и проявляются в меньшем числе отведений.

При счете в уме перед паттерном с нажатиями, который непосредственно предшествовал периоду сна, по сравнению с аналогичной деятельностью в начале эксперимента наблюдается генерализованный рост альфа-1- и снижение альфа-2- и бета-ритмов. Последний эпизод моторной активности перед засыпанием сопровождается локальным увеличением мощности тета-, альфа-1- и бета-ритмов и уменьшением альфа-2. Увеличение мощностных характеристик тета-, альфа- и бета-ритмов на ЭЭГ является маркером состояния монотонии [5]. Увеличение тета-, альфа-1- с одновременным снижением альфа-2-ритмов связано с состоянием микросна с открытыми глазами при выполнении монотонной зрительно-пространственной деятельности [16]. Увеличение мощности тета- и альфа-ритмов во время деятельности может быть обусловлено и другими факторами, связанными с ее спецификой. Усиление тета-активности наблюдается при увеличении умственной нагрузки [17]. Рост альфа-ритма обнаруживается при выполнении обратного счета в уме [18]. Показано, что увеличение бета-активности на ЭЭГ коррелирует с усилением бдительности и способностью лучше осуществлять высшие когнитивные функции [19].

Анализируемые мощностные характеристики ЭЭГ паттерна счета в уме без нажатий при первой ошибке выполнения психомоторного теста и последнего, ошибочного, эпизода деятельности перед сном – статистически значимо не различались. При паттернах с нажатиями в этих обстоятельствах показано увеличение альфа-1-, альфа-2- и бета-ритмов в лобно-центральных и теменных областях коры. Период от первой к последней ошибке выполнения теста включал в себя паттерны как с десятью нажатиями, так и с меньшим числом нажатий. При этом наблюдалось увеличение временных интервалов между нажатиями. Мы не можем однозначно утверждать, что

в эти интервалы испытуемые выполняли когнитивную деятельность, а не находились в состоянии микросна и последующие паттерны нажатий не испытывали влияния инерции сна. В пользу влияния фактора засыпания говорит факт смещения альфа-ритма из каудальных областей в передние [1]. Наряду с этим показано увеличение бета-активности после эпизода микросна [15]. Этот результат может отражать подсознательное стремление мозга восстановить сознание и перцептивную связь с внешней средой, а также повторно синхронизировать внимание и память для возобновления деятельности. В наших исследованиях показан рост альфа-1- и альфа-2-ритмов в переднецентральных областях при выполнении заданий психомоторного теста после пробуждения из более длительного (свыше полутора минут) дневного сна. Подобное явление наблюдалось, только когда обследуемые начинали восстанавливать эту деятельность с ошибками [20]. Обследуемый правильно припоминает инструкцию («нажимать – считать») в этих обстоятельствах, но не в состоянии в условиях инерции сна, сниженного уровня когнитивного контроля и осознания полностью ее реализовать. При чередовании эпизодов правильного и ошибочного выполнения психомоторного теста при засыпании, как мы предполагаем, субъект из-за колебаний уровня активации не всегда может точно следовать инструкции. Крайний паттерн нажатий с ошибкой, за которым следует длительный эпизод первой стадии сна, – не исключение.

### Заключение

В разные периоды засыпания во время дневного сна уровень активации мозговых процессов при осуществлении деятельности разной сложности изменялся по-разному. На ранней стадии выполнения простой задачи (счет в уме от одного до десяти) сопровождалось генерализованным снижением альфа- и бета-ритмов. При этом более сложная задача (нажимать и считать), выполненная с ошибкой, вызывала их снижение только в каудальных областях отведения ЭЭГ. Непосредственно перед эпизодом относительно длительного сна (от полутора минут и более) мощностные характеристики ЭЭГ простой задачи по сравнению с эпизодом первой моторной ошибки не изменились. Выполнение более сложной задачи при этом сопровождалось ростом альфа- и бета-ритмов в переднецентральных областях и теменной коре. Мы предполагаем, что при углублении сонливости и снижении бдительности периодическая дополнительная моторная деятельность, сопровождающая счет в уме, поддерживает мозг в относительно бодрствующем состоянии. \*

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации на 2021–2023 гг.*

### Литература

1. Gorgoni M., D'Atri A., Scarpelli S., et al. Timing and topography of sleep onset. Asynchronies and regional changes of brain activity. Handbook of Behavioral Neuroscience. Ed. by H.C. Dringenberg, 2019; 19–31.
2. Biabani N., Birdseye A., Higgins S., et al. The neurophysiologic landscape of the sleep onset: a systematic review. J. Thorac. Dis. 2023; 15 (8): 4530–4543.
3. Strauss M., Sitt J., Naccache L., et al. Predicting the loss of responsiveness when falling asleep in humans. Neuroimage. 2022; 251: 119003.



4. Gorgoni M., D'Atri A., Scarpelli S., et al. The electroencephalographic features of the sleep onset process and their experimental manipulation with sleep deprivation and transcranial electrical stimulation protocols. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2020; 114: 25–37.
5. Кирой В.Н., Асланян Е.В., Бахтин О.М. и др. ЭЭГ-корреляты функционального состояния пилотов в динамике тренажерных полетов. *Журнал высшей нервной деятельности.* 2015; 65 (1): 5–13.
6. Poudel G., Hawes S., Innes C., et al. RoWDI: rolling window detection of sleep intrusions in the awake brain using fMRI. *J. Neural Eng.* 2021; 18 (5): 056063.
7. Prerau M., Hartnack K., Obregon-Henao G., et al. Tracking the sleep onset process: an empirical model of behavioral and physiological dynamics. *PLoS Comput. Biol.* 2014; 10 (10): 1003866.
8. Casagrande M., Bertini M. Laterality of the sleep onset process: which hemisphere goes to sleep first? *Biol. Psychol.* 2008; 77 (1): 76–80.
9. Дорохов В.Б. Альфа-веретена и К-комплекс – фазические активационные паттерны при спонтанном восстановлении нарушений психомоторной деятельности на разных стадиях дремоты. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова.* 2003; 53 (4): 502–511.
10. Демонтиенко В.В., Дорохов В.Б., Генус С.В. и др. Биоматематическая модель процесса засыпания человека-оператора. *Физиология человека.* 2008; 34 (5): 63–72.
11. Iber C., Ancoli-Israel S., Chesson A., Quan S. The American Academy of Sleep Medicine (AASM) manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications. Ed. Westchester, American Academy of Sleep Medicine, 2007.
12. Tallon-Baudry C., Bertrand O., Peronnet F., et al. Induced gamma-band activity during the delay of a visual short-term memory task in humans. *J. Neurosci.* 1998; 18 (11): 4244–4255.
13. Borrani J., Chapa-Guerra A., De-la-Garza V., et al. Changes during the sleep onset process on EEG activity and the components of attention. *Sleep Sci.* 2022; 15 (2): 306–313.
14. Putilov A.A., Sveshnikov D.S., Bakaeva Z.B., et al. Differences between male and female university students in sleepiness, weekday sleep loss, and weekend sleep duration. *J. Adolesc.* 2021; 88: 84–96.
15. Zaky M., Shoorangiz R., Poudel G., et al. Increased cerebral activity during microsleeps reflects an unconscious drive to re-establish consciousness. *Int. J. Psychophysiol.* 2023; 189: 57–65.
16. Ткаченко О.Н., Лаврова Т.П., Дорохов В.Б. и др. Микросон: анализ особенностей изменений ЭЭГ при психомоторных нарушениях. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова.* 2013; 63 (1): 141–153.
17. Mun S., Whang M., Park S., Park M.-C. Effects of mental workload on involuntary attention: a somatosensory ERP study. *Neuropsychologia.* 2017; 106: 7–20.
18. Ярец М.Ю., Шарова Е.В., Смирнов А.С. и др. Анализ структурно-функциональной организации задачи счета в контексте исследования управляющих функций. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова.* 2018; 68 (2): 176–189.
19. Schmidt R., Herrojo Ruiz M., Kilavik B., et al. Beta oscillations in working memory, executive control of movement and thought, and sensorimotor function. *J. Neurosci.* 2019; 39 (42): 8231–8238.
20. Черемушкин Е.А., Петренко Н.Е., Дорохов В.Б. Характеристики ЭЭГ и уровень тревожности испытуемых с разной успешностью восстановления психомоторной деятельности при пробуждении во время дневного сна. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова.* 2021; 107 (10): 1299–1309.

### Spectral Characteristics of the Electroencephalogram When Performing Tasks of Different Levels of Complexity During Falling Asleep Before an Episode of Daytime Sleep

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, khton@mail.ru

*Investigating the neurophysiologic correlates of the transition from wakefulness to sleep that accompanies activity has diagnostic value for determining the alertness level and associated attention resources in insomnia and neurologic disorders. Cognitive performance of varying difficulty in falling asleep during daytime sleep stage 1 was investigated in 24 adult healthy subjects. A psychomotor test of two consecutive tasks was used: a counting pattern in mind from 1 to 10 with synchronous button presses with one hand and a counting pattern without presses. EEG spectral characteristics were analyzed at the test performance (control) beginning, at the first error in the pressing pattern (less than 10 presses) and before a prolonged (1.5 minutes or more) sleep episode. EEG segments were compared: 1) during mental counting (simple task); 2) during mental counting with synchronized presses (complex task). At the falling asleep early stage (in the first error situation), a generalized decrease in alpha and beta rhythms is shown when performing a simple task and localized (in caudal cortical areas) when performing a complex task. There were no changes in EEG during the simple task in the pre-sleep stage compared to the early sleep stage. The complex task was accompanied by an increase in the alpha and beta rhythms power in anterior, central and parietal cortical areas. We hypothesize that as sleepiness deepens and vigilance decreases, the periodic additional motor activity that accompanies mind counting keeps the brain in a relatively awake state.*

**Keywords:** sleep, daytime sleep, falling asleep, psychomotor test, monotony, EEG