

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЭГ И УРОВЕНЬ ТРЕВОЖНОСТИ ИСПЫТУЕМЫХ С РАЗНОЙ УСПЕШНОСТЬЮ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПСИХОМОТОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ПРОБУЖДЕНИИ ВО ВРЕМЯ ДНЕВНОГО СНА

© 2021 г. Е. А. Черемушкин¹*, Н. Е. Петренко¹, В. Б. Дорохов¹

¹Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия

* E-mail: khon@mail.ru

Поступила в редакцию 20.05.2021 г.

После доработки 09.07.2021 г.

Принята к публикации 23.07.2021 г.

У взрослых здоровых испытуемых с разным уровнем тревожности исследовалась эффективность восстановления монотонной деятельности после непродолжительного эпизода дневного сна. Использовался непрерывно-дискретный психомоторный тест, при выполнении которого участники эксперимента осуществляли два последовательно чередующихся задания: счет “про себя” от 1 до 10, сопровождаемый синхронными нажатиями на кнопку правой рукой, и только счет “про себя”, без нажатий. В течение всего опыта глаза у испытуемых были закрыты. Перед засыпанием все правильно выполняли задания теста. У тех из них, кто после пробуждения стал ошибаться в числе нажатий и существенно медленнее выполнять тест, показано увеличение спектральной мощности дельта-, тета- и альфа-колебаний в ЭЭГ. Этот результат указывает на выраженные признаки инерции сна, в условиях которой осуществлялась деятельность. У группы испытуемых, которые точно воспроизводили задания теста в обеих экспериментальных ситуациях, после пробуждения изменения в дельта-, тета- и альфа-1 спектральных диапазонах ЭЭГ по сравнению с периодом начала опыта не обнаружено. Этот факт, а также то обстоятельство, что скорость выполнения теста уменьшилась незначительно, дает основания полагать, что последствия кратковременного сна в меньшей степени повлияли на выполнение ими психомоторного теста. Снижение мощности альфа-2-колебаний в каудальных областях отведения ЭЭГ, как мы считаем, отражает активационные процессы, обеспечивающие более эффективную деятельность в этих условиях. Непродолжительный дневной сон неодинаково влияет на эффективность восстановления деятельности здоровых испытуемых с разным уровнем тревожности. После пробуждения у субъектов с повышенной тревожностью в большей степени проявляются признаки инерции сна, и они хуже выполняют задания психомоторного теста, чем в начале опыта, перед засыпанием. Влияние кратковременного сна на эффективность выполнения теста у менее тревожных испытуемых выражено значительно слабее.

Ключевые слова: дневной сон, пробуждение, инерция сна, восстановление деятельности, тревожность, ЭЭГ

DOI: 10.31857/S0869813921100034

Нейрофизиологические исследования восстановления деятельности после сна дают важную информацию о мозговых механизмах ее осуществления в условиях сниженного уровня сознания, расширяют наши представления о работе мозга и представляют интерес в практическом отношении. Эти исследования проводятся в

рамках представлений об инерции сна — когнитивно-поведенческого коррелята сложного и постепенного перехода от состояния сна к состоянию бодрствования, атрибутом которого является временное снижение работоспособности [1]. Обычно оцениваются поведенческие показатели восстановления деятельности: скорость и точность выполнения заданий [обзоры: 1, 2]. В отдельных работах изучаются изменения биоэлектрической активности после ночного сна [3–5]. Исследования, использующие нейрофизиологические показатели во время выполнения деятельности в этот период, малочисленны. В работе [6] было обнаружено, что депривация ухудшает показатели эффективности и время реакции при выполнении Струп-теста. При этом, независимо от длительности ночного сна, наблюдается рост альфа-активности в ЭЭГ, а мощность тета-колебаний увеличивается только у испытуемых с частичной депривацией.

Влияние дневного сна на эффективность деятельности не столь однозначно и зависит от ряда факторов. В частности, показано улучшение выполнения экспериментальных заданий после кратковременных периодов сна, а именно — менее получаса; при пробуждении из менее глубоких, чем третья, стадий сна, а также при самопроизвольном, а не вынуждаемом внешними обстоятельствами пробуждении [обзоры 7, 8]. Полученные факты делают представления об инерции сна как однозначно отрицательном явлении предметом дискуссии. Положительное воздействие короткого дневного сна на деятельность получило название “power nap” [9]. Исследования одновременно поведенческих и нейрофизиологических характеристик в этих условиях практически отсутствуют. Показано снижение мощности альфа-ритма ЭЭГ в состоянии покоя с открытыми глазами после 20 мин дневного сна [10]. Методами ЭЭГ и фМРТ исследовались спектральные характеристики биопотенциалов и связность отделов мозга в процессе выполнения когнитивной деятельности после пробуждения [11]. Подтвердилось, что чем длительнее и глубже сон перед пробуждением, тем менее эффективна последующая деятельность (выполнение задач на вычитание по убыванию). При этом мощность альфа-колебаний возрастала, а связность между отделами мозга уменьшалась по сравнению с периодом перед сном.

Влияние на сон индивидуальных характеристик человека оценивается главным образом с медицинской точки зрения и касается его нарушений [12, 13]. У нормотипических людей была показана связь личностных особенностей, таких как низкий уровень нейротизма, экстраверсия и эмоциональная стабильность, с лучшим качеством сна [14–16]. Влияние тревожности на деятельность после пробуждения практически не изучалось.

Цель нашего исследования: изучить нейрофизиологические корреляты эффективности восстановления деятельности в условиях, приближенных к реальной ситуации засыпания днем, самопроизвольного пробуждения и необходимости сразу выполнять работу, предписанную ранее инструкцией. Задачи: 1 — сопоставить характеристики (поведенческие, спектров ЭЭГ) здоровых испытуемых во время выполнения психомоторного теста [17] перед дневным сном и после спонтанного пробуждения; 2 — сравнить уровень тревожности испытуемых с разной эффективностью выполнения психомоторного теста после пробуждения.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытуемые

В исследовании участвовали 24 человека (16 женщин и 8 мужчин, возраст от 19 до 22 лет), без клинических нарушений сна или неврологических нарушений, правши, студенты московских вузов. Они были ознакомлены с процедурой исследования и дали согласие на участие в нем. Исследование соответствовало этиче-

ским нормам Хельсинской декларации 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. Исследование одобрено этической комиссией Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН. Накануне обследования испытуемым предписывалось соблюдать привычный график сна и в день эксперимента воздерживаться от курения, употребления кофеина и алкоголя.

Процедура исследования

Начало эксперимента менялось в промежутке с 13.00 до 13.30. Непосредственно перед опытом испытуемые заполняли клинический опросник тревожности и депрессии (HADS). Для оценки параметров ночного сна, предшествующего обследованию, они также заполняли “Дневник сна” (время сна накануне, самочувствие при пробуждении и качество сна); для оценки дневной сонливости — опросник KSS (Каролинскую шкалу сонливости) и для характеристики текущего состояния — опросник САН (самочувствие, активность, настроение). Испытуемые располагались на кушетке в лежачем положении, в полностью затемненном, звукоизолирующем помещении. После наложения электродов для записи ЭЭГ, окулограммы, миограммы и механограммы испытуемого обучали без резких движений нажимать большим пальцем правой руки на кнопку, закрепленную на указательном пальце, и просили принять наиболее удобную для него позу для сна — под одеялом. При этом рука с кнопкой находилась поверх него. Свет выключался. Проводилась запись фоновой ЭЭГ с закрытыми глазами (5 мин). Далее в помещение входил экспериментатор и давал инструкцию, в случае необходимости инструкция повторялась. Потом он выходил и перед тем, как закрыть дверь, давал команду — после короткой паузы начать выполнение психомоторного теста. Для удобства испытуемого при отведении ЭЭГ использовался неопределенный шлем “MCScar 10-20” со съёмными электродами “MCScar-T” для длительной регистрации биопотенциалов и используемыми в полисомнографии (т.н. “тонкие” электроды). Качество записи контролировалось в режиме реального времени на экране монитора.

Продолжительность записи ЭЭГ варьировалась от 1 ч до 1 ч 20 мин. Этот промежуток включал в себя запись фоновой ЭЭГ (5 мин), прослушивание инструкции, выполнение психомоторного теста, приводящего к засыпанию, сон с самопроизвольными пробуждениями, которые сопровождались восстановлением выполнения теста и последующим засыпанием и окончательным пробуждением. В течение всей записи свет в помещении, где проводился опыт, отсутствовал. Для оценки продолжительности сна в целом и его второй стадии все полисомнограммы испытуемых были визуально стадированы согласно критериям Американской ассоциации медицины сна [18].

Использовали непрерывно-дискретный психомоторный тест [17]. Обследуемые считали “про себя” от 1 до 10, при этом синхронно при каждом отсчете они должны были нажимать на кнопку большим пальцем правой руки, зафиксированную на указательном пальце той же руки. Далее они продолжали считать “про себя” от 1 до 10, но уже без нажатий. Чередование счета с нажатиями и без нажатий продолжалось до тех пор, пока обследуемые не засыпали. При спонтанном пробуждении они должны были немедленно, без напоминания, не открывая глаз, возобновить выполнение психомоторного теста. В инструкции подчеркивалось, что при просыпании надо сначала выполнять счет с нажатием на кнопку и только потом без нажатия.

ЭЭГ с поверхности головы регистрировали от 17 электродов, расположенных в соответствии со схемой 10–20% ($F_3, F_4, F_7, F_8, F_z, C_3, C_4, Cz, T_3, T_4, P_3, P_4, P_z, T_5, T_6,$

O_1, O_2). Отведение ЭЭГ – монополярное, референтный электрод – объединенный ушной. Также регистрировали электроокулограмму (ЭОГ), необходимую для стадирования сна, миограмму (ЭМГ) для отслеживания движений большого пальца правой руки и механограмму нажатий на кнопку. Регистрацию проводили с помощью системы Neocortex-Pro (Neurobotics). Частота дискретизации – 250 Гц. Полоса пропускания частот: 0.5–70 Гц. ЭЭГ регистрировали с помощью шлема с хлор-серебряными электродами, с сопротивлением, не превышающим 5 кОм.

Отбор и анализ данных

Пробуждение 2-х испытуемых сопровождалось многочисленными двигательными артефактами, поэтому из последующего анализа их поведенческие и электрофизиологические данные были исключены. На основании наличия ошибок при выполнении психомоторного теста в период самопроизвольного пробуждения из второй стадии сна испытуемые были разделены на две группы: группа 1–10 человек (6 женщин и 4 мужчин) выполняла тест без ошибок; группа 2–12 человек (9 женщин и 3 мужчин) в процессе выполнения деятельности допускала ошибки: у этих испытуемых после пробуждения появлялись паттерны, в которых число нажатий было меньше требуемого инструкцией, следовательно, эффективность восстановления деятельности у них была ниже, чем у группы 1. Проводили сравнение между группами.

Анализировали поведенческие характеристики выполнения психомоторного теста и отводимую при этом ЭЭГ в двух экспериментальных ситуациях: 1 – в самом начале опыта, 2 – сразу после пробуждения. Время анализа в обоих случаях составляло 2 мин.

В качестве поведенческих характеристик использовали два показателя – число паттернов нажатий (1 паттерн – 10 нажатий в случае правильного выполнения теста и меньше 10-ти – при ошибочном) и число нажатий в целом за эпоху анализа.

Перед началом выполнения теста испытуемые выбирали наиболее удобное для себя положение руки и учились без резких движений нажимать на кнопку, что обусловило у всех участников эксперимента отсутствие артефактов в ЭЭГ в первые 2 мин выполнения теста (1-я экспериментальная ситуация) и в течение 2 мин сразу после пробуждения (2-я экспериментальная ситуация). Отметим, что в эти периоды, так же как и в течение всего опыта, глаза у испытуемых были закрыты. На основании быстрого преобразования Фурье для каждого отведения ЭЭГ на выделенных отрезках вычисляли спектральные функции (длина эпохи – 4 с, для сглаживания использовали окно Хэмминга); далее их логарифмировали с целью приведения данных к нормальному распределению; затем проводили усреднение по всему анализируемому периоду деятельности и полученные характеристики ЭЭГ усредняли по частоте в дельта- (1–3 Гц), тета- (4–7.5 Гц), альфа1- (8–10.5 Гц) и альфа2- (11–13.5 Гц) диапазонах.

Поведенческие характеристики в целом по всей группе испытуемых анализировали с помощью дисперсионного анализа (ANOVA RM). В качестве внутригруппового использовался фактор “ситуация” (2 уровня: в начале опыта и после пробуждения). Сравнение поведенческих и психометрических характеристик групп испытуемых без ошибок и с ошибками выполнения теста после пробуждения проводили с помощью *t*-критерия Стьюдента.

Полученные мощностные характеристики ЭЭГ для каждой из выделенных групп анализировали с помощью дисперсионного анализа (ANOVA RM). В качестве внутригрупповых использовались следующие факторы: “ситуация” (2 уровня: в начале опыта и после пробуждения) и “отведение” (17 уровней: по числу отведений ЭЭГ). Анализ проводили отдельно для каждого из исследуемых частотных

диапазонов. Все результаты ANOVA RM получали с использованием поправки Гринхауса—Гейссера. Регионарные различия между ситуациями для каждого отведения оценивали с помощью t -критерия Стьюдента. Вычисления проводили с помощью пакетов программ Matlab 78.01 и SPSS 13.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все испытуемые правильно выполняли задания психомоторного теста в начале опыта. В период пробуждения у части испытуемых в том или ином числе паттернов с нажатиями наблюдалось уменьшение числа нажатий, что рассматривалось нами как выполнение заданий теста с ошибками. По всем испытуемым показано уменьшение числа паттернов нажатий и числа нажатий в целом при выполнении теста в период кратковременного пробуждения по отношению к периоду начала деятельности ($F(1,20) = 6.3, p = 0.01$ и $F(1,20) = 6.3, p = 0.001$ соответственно). При этом у субъектов, которые правильно воспроизводили задания теста это уменьшение незначимо ($t = 1.76, df = 9, p = 0.11$ и $t = 1.76, df = 9, p = 0.11$ соответственно). Они несколько медленнее выполняли тест после пробуждения и при этом всегда 10 раз нажимали на кнопку, когда это было необходимо. В группе с ошибками наблюдалось значимое уменьшение обоих поведенческих параметров ($t = 2.2, df = 11, p < 0.05$ и $t = 3.72, df = 11, p < 0.01$ соответственно).

Время сна ночью накануне исследования, его качество, самочувствие после пробуждения, а также уровень сонливости непосредственно перед опытом у групп субъектов без ошибок и с ошибками значимо не различались ($t = -0.43, df = 20, p = 0.66, t = 0.70, df = 20, p = 0.49, t = -0.68, df = 20, p = 0.50$ и $t = -0.31, df = 20, p = 0.75$ соответственно). Среднее время сна в ночь перед опытом в группе без ошибок составляло 6.5 ± 0.3 ч (здесь и далее приводится среднее значение показателя и ошибка среднего: $M \pm SE$), в группе с ошибками — 6.8 ± 0.6 ч; самочувствие при пробуждении — 3.3 ± 0.3 и 3.0 ± 0.3 ; качество сна — 3.6 ± 0.4 и 3.9 ± 0.2 соответственно (по 5-бальной шкале, при этом оценка 5 означает “отлично”); средний уровень сонливости перед опытом — 5.1 ± 0.6 в безошибочной группе и 5.3 ± 0.5 в группе с ошибками (по 7-бальной шкале, при этом “отлично” — 1 балл: самый низкий уровень, т.е. высокую степень бодрствования). Общая продолжительность сна до исследуемого периода деятельности у групп без ошибок и с ошибками составила 13.1 ± 2.6 и 12.5 ± 2.9 мин соответственно, при этом длительность второй стадии — 7.4 ± 1.8 и 8.5 ± 2.5 мин. Также не различались характеристики состояния испытуемых этих групп, оцениваемые по тесту САН ($t = 1.48, df = 20, p = 0.15; t = 0.59, df = 20, p = 0.56$ и $t = 1.95, df = 20, p = 0.07$ соответственно). Самочувствие в группе без ошибок составляло 52.8 ± 3.3 балла, в группе с ошибками — 46.2 ± 3.0 ; активность 48.8 ± 3.7 и 45.9 ± 3.2 баллов соответственно; настроение — 55.3 ± 2.8 и 62.3 ± 2.2 балла соответственно. Согласно результатам тестирования по “госпитальной шкале тревожности и депрессии” у испытуемых, которые допускали ошибки при выполнении психомоторного теста в период кратковременного пробуждения, показатели уровня тревожности и депрессии были значимо больше ($Z = -2.75, p < 0.01$ и $Z = -2.85, p < 0.01$ соответственно) (рис. 1).

Статистическая оценка изменений в исследуемых ритмах ЭЭГ от ситуации в начале опыта к состоянию начала деятельности после сна по отведениям и группам с разной эффективностью приведены на рис. 2.

Результаты дисперсионного анализа приведены в табл. 1–2.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выполнение психомоторного теста после самопроизвольного пробуждения во время дневного сна по поведенческим и нейрофизиологическим показателям от-

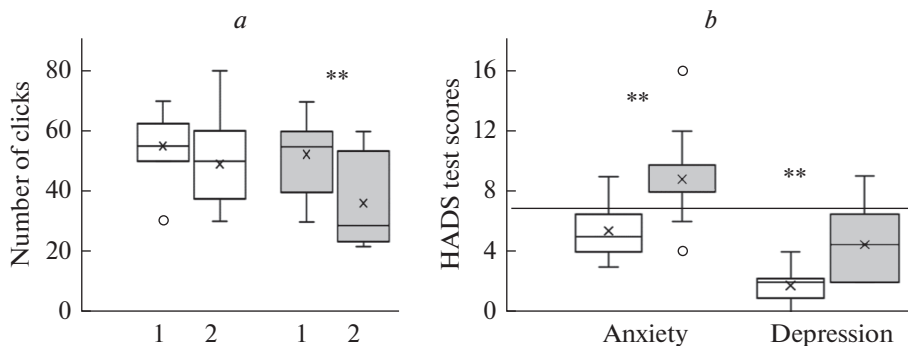


Рис. 1. Диаграммы “ящик с усами” поведенческих и индивидуальных характеристик испытуемых с разной эффективностью восстановления деятельности в период пробуждения из дневного сна. Белые фигуры – испытуемые с высокой эффективностью, серые – с низкой. (а) – число нажатий перед сном в начале опыта (1) и после пробуждения (2); (б) – уровни тревожности (Anxiety) и депрессии (Depression) (в баллах), прямая линия – уровень нормы; ** – $p < 0.01$.

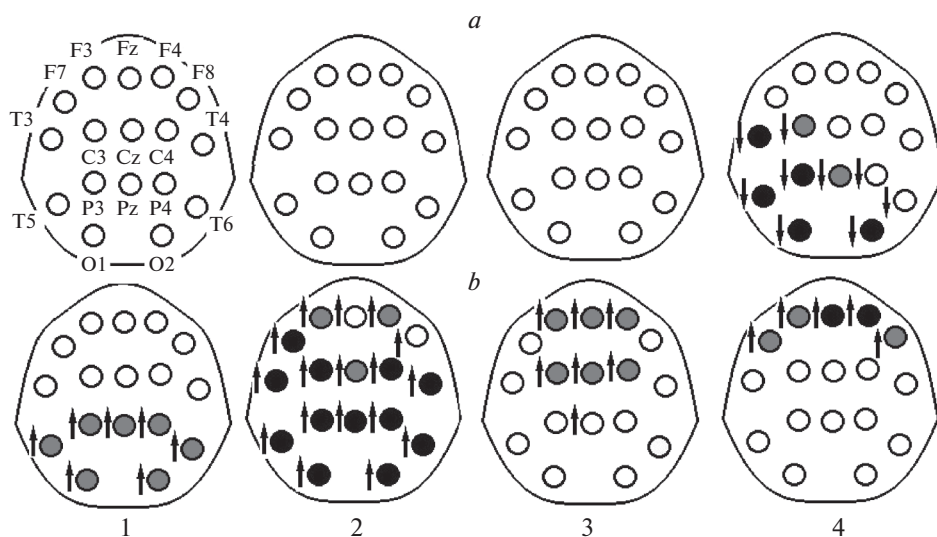


Рис. 2. Карты-схемы изменений мощностных характеристик ритмов ЭЭГ от ситуации деятельности перед дневным сном в начале опыта к ситуации восстановления этой деятельности в период кратковременного пробуждения у испытуемых с разной эффективностью восстановления. (а) – испытуемые с высокой эффективностью восстановления, (б) – с низкой; 1–4 – дельта-, тета-, альфа-1- и альфа-2-ритмы соответственно; значки “стрелка вверх” и “стрелка вниз” – увеличение и уменьшение мощности ритмов соответственно; серые и черные круги – значимость изменений: $p < 0.05$ и $p < 0.01$ соответственно. На карте-схеме в верхнем левом углу рисунка показаны названия отведений ЭЭГ.

личается от аналогичной деятельности в начале опыта перед засыпанием. У испытуемых снизилась скорость осуществления заданий теста, появились ошибки, у некоторых испытуемых существенно увеличились мощности тета-ритма в ЭЭГ. Рост этого ритма рассматривается как один из признаков инерции сна [6]. Деление субъектов на группы с ошибками и без ошибок выявило, что они различаются по

Таблица 1. Результаты дисперсионного анализа (ANOVA RM) у группы испытуемых с высокой эффективностью деятельности при кратковременном пробуждении во время дневного сна

Факторы	Диапазоны ЭЭГ			
	Дельта	Тета	Альфа-1	Альфа-2
“Ситуация”	$F(1,9) = 1.71$ $p = 0.22$	$F(1,9) = 1.25$ $p = 0.29$	$F(1,9) = 0.001$ $p = 0.97$	$F(1,9) = 6.10$ $p = 0.036$
“Ситуация”* “Отведение”	$F(3,25) = 1.14$ $p = 0.35$	$F(3,29) = 0.59$ $p = 0.64$	$F(3,26) = 2.68$ $p = 0.069$	$F(3,28) = 4.93$ $p < 0.001$

Знак “*” в колонке “факторы” – взаимодействие факторов дисперсионного анализа. В ячейках таблицы приведены степени свободы, значения критерия Фишера и уровни достоверности влияния соответствующих факторов и их взаимодействия на характеристики средних значений мощности указанных ритмов.

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа (ANOVA RM) у группы испытуемых с низкой эффективностью деятельности при кратковременном пробуждении во время дневного сна

Факторы	Диапазоны ЭЭГ			
	Дельта	Тета	Альфа-1	Альфа-2
“Ситуация”	$F(1,11) = 3.13$ $p = 0.10$	$F(1,11) = 22.37$ $p = 0.001$	$F(1,11) = 3.42$ $p = 0.091$	$F(1,11) = 0.65$ $p = 0.44$
“Ситуация”* “Отведение”	$F(3,38) = 2.71$ $p = 0.05$	$F(3,33) = 2.74$ $p < 0.05$	$F(3,29) = 3.09$ $p < 0.05$	$F(4,40) = 11.27$ $p < 0.001$

Обозначения, как в табл. 1.

индивидуальным и нейрофизиологическим характеристикам. Показатели тревожности и депрессии у группы с ошибками были больше. Уровень тревожности при этом у них был повышенным, а уровень депрессии хоть и был выше, чем в группе без ошибок, но находился в границах нормы. При этом по качеству сна, его продолжительности накануне исследования, уровню текущей сонливости, а также по показателям функциональной активности, согласно шкалам опросника САН, группы не различались. После пробуждения у испытуемых с ошибками отмечалось достоверное замедление выполнения заданий теста и увеличение мощности дельта- и тета-ритмов по сравнению с началом опыта. У испытуемых, которые не ошибались, эти изменения отсутствовали. Увеличение после сна низкочастотных спектральных характеристик ЭЭГ, в особенности дельта-ритма, является признаком инерции сна и может быть ответственным за отрицательные физические и когнитивные эффекты, наблюдаемые в этот период [2–5, 11]. Дельта-колебания ЭЭГ характеризуют внутреннюю бистабильность (чередование гиперполяризации и деполяризации нейронов) корковой сети, нарушают синхронное взаимодействие корковых областей мозга, необходимое для функционирования сознания [5]. Ранее нами была показана связь увеличения мощности дельта-ритма после пробуждения с реализацией деятельности на фоне сниженного уровня сознания [19]. Можно предположить, что после пробуждения его уровень у испытуемых с ошибками понизился по отношению к состоянию полной бдительности, характерной для деятельности в самом начале опыта.

У этих же испытуемых показан рост представленности низкочастотных и высокочастотных альфа-колебаний в передних областях отведения ЭЭГ. Увеличение мощности альфа-ритма во фронтальных областях коры наблюдается после пробуждения в состоянии покоя [20, 21] и при деятельности [6, 11, 19], и также рассматривается как признак инерции сна. Кратковременный сон у тревожных испы-

туемых может снижать свойственную им избыточную активацию коры [22], о чем свидетельствует увеличение мощности этого ритма после пробуждения. При этом более низкое качество ночного сна у тревожных пациентов [12, 13] и ошибки после пробуждения при выполнении теста практически здоровых, но с субклиническим уровнем тревожности испытуемых в нашем исследовании, дают основания поставить вопрос о качестве кратковременного дневного сна и его положительного эффекта на их функциональное состояние.

В группе без ошибок наблюдалось снижение мощности высокочастотных колебаний альфа-диапазона в каудальных областях коры и левой центральной и передне-височных зонах. Уменьшение мощностных характеристик альфа-ритма связывается с активационными процессами в мозге [23]. Можно предположить, что рост активации в процессе выполнения заданий после сна является компенсационным механизмом, который противодействует развитию инерции сна. При этом надо упомянуть, что связь уменьшения мощностных характеристик альфа-ритма с активационными процессами в мозге, согласно данным литературы, показана для состояния бодрствования при открытых глазах, т.е. в экспериментальных условиях, существенно отличающихся от наших. Тем самым полученные нами результаты оставляют простор для их истолкования читателями. Отсутствие изменений в дельта-, тета- и низкочастотном альфа-диапазонах, а также отсутствие значимого уменьшения скорости выполнения психомоторного теста позволяют утверждать, что признаки инерции сна в группе, выполняющих деятельность без ошибок, выражены существенно меньше.

Таким образом, непродолжительный дневной сон неодинаково влияет на эффективность восстановления деятельности здоровыми испытуемыми с разным уровнем тревожности. После пробуждения у субъектов с повышенной тревожностью в большей степени проявляется инерция сна, и они хуже выполняют задания психомоторного теста, чем в начале опыта. Влияние инерции сна на менее тревожных испытуемых незначительно.

Ранее мы поставили в соответствие степень восстановления психомоторной деятельности непосредственно после спонтанного пробуждения уровню восстановления сознания [19, 24]. Число нажатий на кнопку в попытке, успешной или нет, воспроизвести первый паттерн нажатий после пробуждения и соответствующие им изменения в ЭЭГ позволяют параметризовать и тем самым различать разные состояния сознания: от полной бдительности с первого паттерна нажатий до крайне сниженного уровня, не позволяющего осуществить этот паттерн деятельности до конца. За рамками этих исследований оставались случаи, когда испытуемые длительное время после пробуждения выполняли задания теста с ошибками. Мы полагаем, что уровень сознания этих испытуемых был ниже, чем у группы, которая безукоризненно выполняла задания теста после пробуждения. Наличие/отсутствие ошибок в данном случае мы рассматриваем как вклад в параметризацию, в оценку уровня сознания после пробуждения. С другой стороны, в исследовании, которому посвящена эта статья, мы обнаружили, что наличие/отсутствие ошибок в данных обстоятельствах связано с уровнем тревожности, и не исключаем связь этой индивидуальной характеристики субъектов со степенью восстановления сознания при пробуждении.

Многие исследования эффективности деятельности после сна, в особенности японских физиологов, психологов и социологов, ориентированы на поиски методов улучшения производительности труда в течение рабочего дня, например, в послеобеденное время. Мы полагаем, что и наше исследование имеет прикладную составляющую и не будет обойдено вниманием соответствующих специалистов.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа частично поддержана грантом РФФИ (№ 20-013-00683а) и средствами государственного бюджета по государственному заданию Министерства образования и науки Российской Федерации на 2021–2023 гг.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

ВКЛАД АВТОРОВ

Руководство работой, методическая разработка (В.Б.Д.); идея работы, планирование эксперимента и сбор данных (Е.А.Ч., Н.Е.П.); обработка данных (Е.А.Ч.); написание и редактирование манускрипта (Е.А.Ч., Н.Е.П., В.Б.Д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рущкова ЕМ* (2016) Инерция сна. Эффективная фармакотерапия. Неврология. Спецвыпуск “Сон и его расстройства – 4” 19: 16–23. [Rutskova YeM Sleep Inertia. Effektivnaya farmakoterapiya. Spetsvypusk “Son i ego rasstroistva – 4” 19: 16–23. (In Russ)].
2. *Trotti LM* (2017) Waking up is the hardest thing I do all day: Sleep inertia and sleep drunkenness. *Sleep Med Rev* 35: 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2016.08.005>
3. *Marzano C, Ferrara M, Moroni F, De Gennaro L* (2011) Electroencephalographic sleep inertia of the awakening brain. *Neuroscience* 176: 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2010.12.014>
4. *Gorgoni M, Ferrara M, D’Atri A, Lauri G, Scarpelli S, Truglia I, De Gennaro L* (2015) EEG topography during sleep inertia upon awakening after a period of increased homeostatic sleep pressure. *Sleep Med* 16(7): 883–890. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2015.03.009>
5. *Chen X, Hsu C-F, Xu D, Yu J, Lei X* (2020) Loss of frontal regulator of vigilance during sleep inertia: Asimultaneous EEG-fMRI study. *Hum Brain Mapp* 41(15): 4288–4298. <https://doi.org/10.1002/hbm.25125>
6. *Tassi P, Bonnefond A, Engasser O, Hoeft A, Eschenlauer R, Muzet A* (2006) EEG spectral power and cognitive performance during sleep inertia: the effect of normal sleep duration and partial sleep deprivation. *Physiol Behav* 87(1): 177–184. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.09.017>
7. *Hilditch CJ, Dorrian J, Banks S* (2017) A review of short naps and sleep inertia: do naps of 30 min or less really avoid sleep inertia and slow-wave sleep? *Sleep Med* 32: 176–190. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2016.12.016>
8. *Полуэктов МГ, Нарбут АМ, Дорохов ВБ* (2020) Кратковременный дневной сон и консолидация памяти. Журн неврол психиатр им СС Корсакова 120(8): 127–132. [Poluektov MG, Narbut AM, Dorohov VB (2020) Short-term daytime sleep and memory consolidation. Zhurn nevroл psihiatr im SS Korsakova 120(8): 127–132. (In Russ)]. <https://doi.org/10.17116/jnevro2020120081127>
9. *Maas JB, Wherry ML, Axelrod DJ, Hogan BR, Bloomin J* (1998) Power sleep: The revolutionary program that prepares your mind for peak performance. New York. Villard.
10. *Hayashi M, Watanabe M, Hori T* (1999) The effects of a 20 min nap in the mid-afternoon on mood, performance and EEG activity. *Clin Neurophysiol* 110(2): 272–279. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(98\)00003-0](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(98)00003-0)
11. *Vallat R, Meunier D, Nicolas A, Ruby P* (2019) Hard to wake up? The cerebral correlates of sleep inertia assessed using combined behavioral, EEG and fMRI measures. *NeuroImage* 184: 266–278. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.09.033>
12. *Horváth A, Montana X, Lanquart J-P, Hubain Ph, Szűcs A, Linkowski P, Loas G* (2016) Effects of state and trait anxiety on sleep structure: A polysomnographic study in 1083 subjects. *Psych Res* 244: 279–283. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2016.03.001>
13. *Полуэктов МГ, Пчелина ПВ* (2017) Расстройства сна и тревога. Эффективная фармакотерапия. Неврология и психиатрия. Спецвыпуск “Сон и его расстройства – 5” 35: 80–

89. [Poluektov MG, Pchelina PV (2017) Sleep Disorders and Anxiety. Effektivnaya farmakoterapiya. Spetsvyypusk "Son i ego rasstroistva – 5" 35: 80–89. (In Russ)].
14. Stephan Y, Sutin AR, Bayard S, Križan Z, Terracciano A (2018) Personality and sleep quality: Evidence from four prospective studies. *Health Psychol* 37: 271–281. <https://doi.org/10.1037/hea0000577>
 15. Sutin AR, Gamaldo AA, Stephan Y, Strickhouser J E, Terracciano A (2019). Personality Traits and the Subjective and Objective Experience of Sleep. *Int J Behav Med* 27: 481–485. <https://doi.org/10.1007/s12529-019-09828-w>
 16. Sella E, Carbone E, Toffalini E, Borella E (2020). Personality traits and sleep quality: The role of sleep-related beliefs. *Person and Individ Differences* 156: 109770. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2019.109770>
 17. Дорохов ВБ (2003) Альфа-веретена и К-комплекс – фазические активационные паттерны при спонтанном восстановлении нарушений психомоторной деятельности на разных стадиях дремоты. *Журн высш нерв деят* 53(4): 502–511. [Dorokhov VB Alpha-spindle and K-complex – phase activation patterns during spontaneous recovery of psychomotor activity disorders at different stages of nap. *Zhurn Vyssh Nerv Deyat* 53(4): 502–511. (In Russ).]
 18. Berry RB, Brooks R, Gamaldo CE, Harding SM, Lloyd RM, Marcus CL, Vaughn BV (2015) The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events: Rules, Terminology and Technical Specifications, Version 2.2. www.aasmnet.org. Darien, Illinois: Am Acad Sleep Med.
 19. Cheremushkin EA, Petrenko NE, Gendzhaliyeva MS, Malakhov DG, Dorokhov VB (2020) EEG Characteristics during Short-Term Spontaneous Waking Periods of Different Durations with Changes in Psychomotor Activity Induced by Falling Asleep. *J Neurosci Behav Physiol* 50(9): 1232–1238. <https://doi.org/10.1007/s11055-020-01024-8>
 20. Radzi SSM, Asirvadam VS, Hutapea D KY, Dass SC (2018) Comparison of EEG signals during alert and sleep inertia states using fractal dimension. 2018 IEEE 14th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA) <https://doi.org/10.1109/cspa.2018.8368704>
 21. Britton JW, Frey LC, Hopp JL, Korb P, Koubeissi MZ, Lievens WE, Pestana-Knight EM, Louis EKSt (2016). Electroencephalography (EEG): An Introductory Text and Atlas of Normal and Abnormal Findings in Adults, Children, and Infants. Allen Press Inc: Lawrence KS USA. <https://doi.org/10.5698/978-0-9979756-0-4>
 22. Siciliani O, Schiavon M, Tansella M (1975) Anxiety and EEG alpha activity in neurotic patients. Baseline Correlations and Changes During a Double-Blind Trial with Temazepam. *Acta Psych Scand* 52(2): 116–131. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1975.tb00028.x>
 23. Klimesch W (1999) EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Res Rev* 29(2–3): 169–195. [https://doi.org/10.1016/s0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/s0165-0173(98)00056-3)
 24. Черемушкин EA, Петренко НЕ, Дорохов ВБ (2021) Сон и нейрофизиологические корреляты активации сознания при пробуждении. *Журн неврол психиатр им СС Корсакова* 121(4–2): 14–18. <https://doi.org/10.17116/jnevro202112104214>

EEG Characteristics and the Level of Anxiety of Tests with Different Successes of Restoring Psychomotor Activities during Waking Up during Daily Sleep

E. A. Cheremushkin^a, *, N. E. Petrenko^a, and V. B. Dorokhov^a

^a Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology of RAS, Moscow, Russia

*e-mail: khton@mail.ru

In healthy adults with different levels of anxiety, the effectiveness of restoring monotonous activity after a short episode of daytime sleep was studied. A continuous-discrete psychomotor test was used, during which the participants of the experiment performed two successively alternating tasks: counting “to oneself” from 1 to 10, accompanied by synchronous pressing of the button with the right hand, and only counting “to oneself”, without pressing. During the entire experiment, the subjects' eyes were closed. Before falling asleep, everyone performed the test tasks correctly. Those of them who, after waking up, began to make mistakes in the number of clicks and perform the test significantly slower, an increase in the spectral power of delta, theta and alpha oscillations in

the EEG was shown. This result indicates pronounced signs of sleep inertia in the conditions of which the activity was carried out. In the group of subjects who accurately reproduced the test tasks in both experimental situations, no changes were detected in the delta -, theta - and alpha-1 spectral ranges of the EEG after awakening compared to the period of the beginning of the experiment. This fact, as well as the fact that the speed of test execution decreased insignificantly, suggests that the consequences of short-term sleep influenced their performance of the psychomotor test to a lesser extent. The decrease in the power of alpha-2 oscillations in the caudal areas of the EEG derivation, we believe, reflects the activation processes that provide more effective activity in these conditions. A short nap of the day has a different effect on the efficiency of recovery of the activity of healthy subjects with different levels of anxiety. After waking, subjects with increased anxiety show signs of sleep inertia to a greater extent, and they perform worse on the tasks of the psychomotor test than at the beginning of the experiment, before falling asleep. The influence of short-term sleep on the effectiveness of the test in less anxious subjects was significantly less pronounced.

Keywords: daytime sleep, awakening, sleep inertia, recovery of activity, anxiety, EEG