ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА, 2021, том 47, № 1, с. 20–30

УДК 612.821

ДИНАМИКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЭГ У ЛИЦ С РАЗНОЙ ЛИЧНОСТНОЙ ТРЕВОЖНОСТЬЮ ПРИ КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

© 2021 г. Т. Д. Джебраилова[1, 2, *], И. И. Коробейникова[1, **], Н. А. Каратыгин[1, 2], Е. В. Бирюкова[2], Я. А. Венерина[2]

[1]*ФГБУН Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина, Москва, Россия*

[2]*Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия*

**E-mail: dzhebrailova@mail.ru*

***E-mail: i_korobeinikova@mail.ru*

Поступила в редакцию 11.01.2020 г.
После доработки 10.03.2020 г.
Принята к публикации 05.07.2020 г.

Изучали спектральную мощность потенциалов θ_1-, θ_2-, α-, β_1- и β_2-диапазонов электроэнцефалографии (ЭЭГ) у испытуемых (43 чел., мужчины в возрасте 19–21 года) с разной личностной тревожностью при тестировании внимания. Личностную и ситуативную тревожность по Ч.Д. Спилбергеру оценивали до тестирования. В исходном состоянии при закрытых глазах, у испытуемых с низкой личностной тревожностью наблюдалась достоверно большая, чем у испытуемых с высокой тревожностью, мощность колебаний θ_1- (в затылочных и левой теменной областях) и θ_2- (в левой фронтальной и правой височной областях) диапазонов ЭЭГ. В это же время у испытуемых с высокой личностной тревожностью наблюдалась меньшая, чем у индивидов с низкой тревожностью мощность α-диапазона ЭЭГ левой центральной и фронтальных областей коры. При выполнении теста, по сравнению с исходным состоянием при открытых глазах, у индивидов с низкой личностной тревожностью отмечалось возрастание мощности потенциалов как θ_1-, так и β_2-диапазонов ЭЭГ во всех областях коры, кроме височных. У индивидов с высокой тревожностью при выполнении теста наблюдалось увеличение мощности потенциалов θ_1-диапазона ЭЭГ, но не происходило роста мощности β_2-потенциалов ЭЭГ. Можно предположить, что выявленные особенности динамики спектральных характеристик ЭЭГ отражают преобладание ориентировочного или оборонительного компонента спектра мотивации у индивидов с разным уровнем личностной тревожности.

Ключевые слова: внимание, тревожность, θ_1-, θ_2-, α-, β_1- и β_2-диапазоны ЭЭГ.

DOI: 10.31857/S0131164621010033

Тревожность является приобретенным влечением, источником которого служит антиципирующая эмоциональная реакция, вызываемая стимулами, указывающими на какую-либо угрозу. Тревожность, как черта личности, означает мотив или приобретенную поведенческую диспозицию, которая предрасполагает индивида к восприятию широкого круга объективно безопасных обстоятельств как содержащих угрозу, побуждая реагировать на них тревожными состояниями, интенсивность которых не соответствует величине объективной опасности [1, 2]. Тревожность у человека рассматривают как комплексный феномен, характеризующийся специфическими соматическими, аффективными и когнитивными реакциями [3]. В целом можно считать установленным, что зависимость между эффективностью деятельности, в том числе и когнитивной, и уровнем тревожности в соответствие с законом Йоркса-Додсона описывается инвертированной "*U*"-образной кривой, когда максимальная эффективность соответствует некоторому среднему или оптимальному уровню тревожности [2]. При этом до настоящего времени остается недостаточно исследованным вопрос о том, с какими именно факторами связана различная эффективность когнитивной деятельности при разном уровне личностной и ситуативной тревожности. Одним из наиболее характерных признаков высокой личностной тревожности является избирательное усиление внимания к угрожающим стимулам [4]. Учитывая, что состояние тревоги связано с активностью так называемой системы торможения текущего поведения при усилении внимания к сти-

мулам, представляющих потенциальную угрозу [5], можно полагать, что одним из факторов, определяющих различия эффективности когнитивной деятельности в зависимости от уровня тревожности, является именно перераспределение ресурсов внимания. Можно ожидать также, что выявлению специфических механизмов обеспечения внимания у индивидов с разной тревожностью будет способствовать сопоставление особенностей мозговой организации внимания, отражающихся в динамике спектральных характеристик электроэнцефалографии (ЭЭГ). Одним из оснований для такого предположения является анализ литературных данных, свидетельствующих о своеобразии ЭЭГ характеристик у индивидов с разной тревожностью. Ранее нами было показано, что в обычные учебные дни студенты с высокой личностной тревожностью отличались от студентов с низкой тревожностью меньшей относительной спектральной мощностью α- и большей δ-активности на ЭЭГ затылочных, теменных, центральных и правой фронтальной областей коры головного мозга [6]. В то же время, приводятся сведения об отсутствии различий в уровне личностной тревожности у испытуемых с низко и высоко амплитудным α-ритмом [7]. Показано, что связь между личностной тревожностью и спектральной мощностью α-ритма опосредуется ситуационной тревожностью [8]. Известны представления о связи фактора личностной тревожности с межполушарной активационной асимметрией [9, 10]. При изучении взаимоотношений между фактором тревожности и особенностями межполушарных ЭЭГ-асимметрий в основных частотных диапазонах установлено, что высокотревожные испытуемые, по сравнению с контрольной группой, обнаруживали большие значения θ_1- и β_1-мощности в теменно-височных областях коры правого полушария [3]. По результатам другого исследования, характерное для студентов с высокой тревожностью в обычные учебные дни присутствие δ- и θ-волн наблюдалось на ЭЭГ левой лобной области коры [11]. Разнообразие литературных данных свидетельствует о том, что вопрос поиска объективных физиологических коррелятов уровня тревожности далек от своего решения.

Целью данной работы было выявление особенностей спектральных характеристик ЭЭГ при тестировании внимания у индивидов с разной личностной тревожностью.

МЕТОДИКА

В исследовании принимали участие 43 чел. (юноши в возрасте 19–21 года, правши) с нормальной остротой зрения.

Схема обследования состояла из: 1) ознакомления испытуемых с процедурой обследования; 2) заполнения бланков психологических тестов; 3) установки электродов; 4) регистрации ЭЭГ в исходном состоянии при закрытых глазах (ЗГ); 5) инструкции по выполнению экспериментальной задачи; 6) регистрации ЭЭГ непосредственно перед и во время выполнения экспериментальной задачи.

Психологическое тестирование. У испытуемых тестировали уровень личностной (ЛТ) и ситуативной (СТ) тревожности (*STAI*) по Ч.Д. Спилбергеру, в модификации Ю.Л. Ханина [12]. По результатам тестирования были выделены группы испытуемых с низкой – ЛТ 1 (до 30 баллов; 13 чел.), средней – ЛТ 2 (31–44 балла; 17 чел.) и высокой – ЛТ 3 (45 и более баллов; 13 чел.) личностной тревожностью.

Экспериментальная задача. Испытуемым предлагали выполнить компьютеризованный вариант теста Горбова (красно-черные таблицы), используемый для оценки концентрации и скорости переключения внимания [13]. Во время обследования испытуемый находился в удобном кресле перед экраном монитора (17 дюймов). На мониторе отображалась квадратная таблица, состоящая из 24 красных и 25 черных квадратных ячеек с собственными номерами. Для всех испытуемых использовали одинаковый набор паттернов расположения квадратов. В соответствии с инструкцией, испытуемый должен был в первом задании выбрать (указать курсором) сначала черные квадраты в порядке возрастания номеров (от 1 до 25), после чего – красные квадраты в порядке убывания номеров (от 24 до 1). Во втором задании – выбрать черные квадраты в порядке возрастания, чередуя их с красными в порядке убывания: черный 1, красный 24, черный 2, красный 23 и т.д. По результатам выполнения теста для каждого испытуемого вычисляли общее время выполнения всего теста (с) и число допущенных при этом ошибок. Вычисляли время переключения внимания, как разницу между временем выполнения первого и второго задания.

ЭЭГ регистрировали в исходном состоянии при ЗГ (Ф1), непосредственно перед (Ф2, при открытых глазах, ОГ) и во время выполнения теста (Тест) с помощью электроэнцефалографа “Нейрон-спектр” (Нейрософт, Россия) монополярно по схеме “10–20” в затылочных (O_2, O_1), теменных (P_4, P_3), центральных (C_4, C_3), лобных (F_4, F_3) и височных (T_4, T_3) отведениях. Объединенные референтные электроды располагали на мочках ушей. Полоса фильтрации составляла 0.5–35.0 Гц, постоянная времени – 0.32 с, режективный фильтр – 50 Гц. После регистрации все записи ЭЭГ были переведены в компьютерную систему анализа и топографического картирования электрической активности мозга “*BRAINSYS*” для *Windows* и обработаны с помощью аппаратно-программного комплекса “НЕЙРО-КМ” (ООО

Таблица 1. Показатели личностной, ситуативной тревожности и результаты выполнения теста у испытуемых с низкой, средней и высокой личностной тревожностью ($M \pm m$)

Показатель	Личностная тревожность		
	низкая	средняя	высокая
Тревожность личностная, балл	28.2 ± 0.7	34.6 ± 0.5	46.7 ± 2.2
Тревожность ситуативная, балл	28.9 ± 0.9	32.9 ± 1.1	38.7 ± 1.5
Время выполнения теста, с	307.4 ± 18.1	285.4 ± 13.9	309.7 ± 12.4
Время переключения внимания, с	102.7 ± 10.9	91.4 ± 8.5	112.3 ± 7.9

"Статокин", Россия). Артефакты исключали из анализируемой записи с использованием возможностей программного комплекса *BRAINSYS*. Спектральный анализ ЭЭГ проводили на основе быстрого преобразования Фурье (пакет программ *BRAINSYS*). Эпоха анализа составляла 4 с при длительности каждого фрагмента в 1 мин, частота оцифровки – 200 Гц. Полученные спектрограммы являлись результатом усреднения по 15 последовательным 4-секундным реализациям каждой анализируемой ЭЭГ. Вычисляли спектры мощности в диапазонах основных ритмов (θ_1 – 4.0–6.0 Гц; θ_2 – 6.0–8.0 Гц; α – 8.0–13.0 Гц; β_1 – 13.0–20.0 Гц; β_2 – 20.0–35.0 Гц).

Для статистической обработки и представления результатов использовали пакет *STATISTICA v.*10. При нормальном распределении анализируемых признаков вычисляли среднее значение (M) и стандартную ошибку среднего (m). Распределение значений спектральной мощности основных ритмов ЭЭГ в группах испытуемых отличалось от нормального, поэтому для представления и анализа данных использовали методы непараметрической статистики. Вычисляли медиану (*Med*) и интерквартильный интервал между 25 и 75% процентилями ($q1$–$q4$). При сравнении результатов обследования независимых групп использовали критерий Краскела-Уоллеса ("*Kruskal-Walles ANOVA*"), как непараметрический аналог дисперсионного анализа [14]. Изменения показателей в разных ситуациях у одной группы испытуемых оценивали с использованием критерия Фридмана ("*Friedman ANOVA by Ranks*"), являющегося непараметрическим аналогом дисперсионного анализа повторных измерений [15]. Апостериорные сравнения проводили с использованием критериев Манна-Уитни (*Mann-Whitney U-test*) и Вилкоксона (*Wilcoxon-test*), значимость выявленных при этом различий (p) скорректирована с учетом поправки по Бонферрони.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Значимых различий в параметрах результата выполнения теста у испытуемых с разным уровнем ЛТ не обнаружено (табл. 1). При этом меньшие средние значения времени выполнения теста и времени переключения внимания отмечались у испытуемых со средним уровнем тревожности.

Выявлены различия мощности потенциалов основных диапазонов ЭЭГ и особенности их динамики при когнитивной деятельности у испытуемых, различающихся по уровню личностной тревожности.

В θ_1-диапазоне ЭЭГ. Тест Краскела-Уоллеса выявил различия спектральной мощности колебаний θ_1-диапазона ЭЭГ у испытуемых с разной личностной тревожностью ($n = 43$; $df = 2$) в исходном состоянии при ЗГ (Ф1) в отведениях O_2 ($H = 7.43$; $p = 0.024$), O_1 ($H = 6.74$; $p = 0.034$), P_4 ($H = 6.90$; $p = 0.032$), P_3 ($H = 7.17$; $p = 0.028$), C_4 ($H = 6.52$; $p = 0.039$), F_4 ($H = 7.04$; $p = 0.030$), а также при ОГ (Ф2) в отведении P_3 ($H = 9.11$; $p = 0.011$).

Апостериорное сравнение (критерий Манна-Уитни) показало (табл. 2), что у испытуемых с высокой ЛТ в исходном состоянии с ЗГ мощность θ_1-диапазона ЭЭГ была ниже, чем у индивидов с низкой ЛТ в отведениях O_2 ($U = 31$; $Z = 2.72$; $p = 0.021$), O_1 ($U = 35$; $Z = 2.51$; $p = 0.036$) и P_3 ($U = 34$; $Z = 2.54$; $p = 0.03$), а также ниже, чем у испытуемых со средней ЛТ в отведениях P_4 ($U = 45$; $Z = 2.57$; $p = 0.03$) и F_4 ($U = 49$; $Z = 2.39$; $p = 0.048$). В исходном состоянии при ОГ (Ф2) у испытуемых с высокой ЛТ мощность θ_1-диапазона ЭЭГ была ниже, чем у индивидов с низкой ЛТ в отведении P_3 ($U = 29$; $Z = 2.82$; $p = 0.015$).

Сопоставление спектральной мощности θ_1-диапазона ЭЭГ в исходном состоянии при ЗГ (Ф1) и ОГ (Ф2), а также во время выполнения задания (Тест) с использованием критерия Фридмана продемонстрировало, что ее значения в этих экспериментальных ситуациях у испытуемых каждой из выделенных групп достоверно различались практически во всех отведениях (табл. 3).

Апостериорные сравнения (критерий Вилкоксона) показали, что у испытуемых с низкой ЛТ в исходном состоянии при ОГ мощность θ_1-диапазона ЭЭГ была меньше, чем при ЗГ в отведениях O_1 ($T = 9$; $Z = 2.55$; $p = 0.033$) и C_4 ($T = 7$; $Z = 2.69$; $p = 0.021$). Во время выполнения теста, по сравне-

Таблица 2. Спектральная мощность потенциалов θ_1-диапазона ЭЭГ (мкВ^2) у испытуемых с разной личностной тревожностью в исходном состоянии при закрытых (Ф1) и открытых (Ф2) глазах и при выполнении теста (Тест); *Med* ($q1$–$q4$)

Отведения ЭЭГ	Ф1(ЗГ)	Ф2(ОГ)	Тест	*Wilcoxon test*					
				Ф1(ЗГ)-Тест			Ф2(ОГ)-Тест		
				T	*Z*	*p*	*T*	*Z*	*p*
ЛТ1									
O_2	5.6 (4.5–11.8)*	5.8 (3.4–7.9)	9.3 (5.5–10.9)				0	3.18	0.005
O_1	5.2 (4.1–9.4)*	4.1 (3.0–6.4)	6.7 (4.7–8.2)				9	2.55	0.033
P_4	5.9 (4.5–12.9)	5.4 (3.4–7.4)	8.4 (6.0–10.0)				0	3.18	0.005
P_3	5.6 (4.7–9.9)*	4.9 (4.1–6.3)	6.6 (5.9–7.7)				2	3.04	0.007
C_4	6.9 (4.9–10.4)	4.8 (3.5–8.2)	7.2 (5.9–10.8)				1	3.11	0.006
C_3	5.9 (4.7–10.8)	4.6 (3.7–7.0)	7.5 (5.6–8.6)				0	3.18	0.005
F_4	7.7 (5.2–10.6)	5.8 (4.0–9.2)	8.1 (7.2–12.2)				0	3.18	0.005
F_3	7.0 (4.8–9.8)	6.0 (4.3–9.1)	8.9 (6.6–10.9)	6	2.59	0.029	3	2.97	0.009
T_4	2.3 (1.9–3.7)	2.3 (1.4–2.7)	2.4 (1.8–4.3)						
T_3	3.1 (2.0–3.2)	2.9 (1.5–3.7)	3.3 (1.8–4.3)						
ЛТ2									
O_2	5.5 (3.6–7.9)	4.8 (3.8–5.7)	8.4 (6.7–12.0)				0	3.52	0.001
O_1	3.6 (2.7–7.3)	3.9 (3.2–4.4)	7.1 (5.9–9.2)				2	3.42	0.002
P_4	7.2 (4.5–8.3)*	5.2 (4.0–7.0)	8.5 (7.5–10.3)				0	3.52	0.001
P_3	4.7 (3.6–6.7)	4.3 (3.5–5.7)	7.5 (6.2–8.9)	13	2.84	0.014	1	3.47	0.002
C_4	6.8 (4.6–7.9)	5.6 (4.5–7.4)	8.6 (7.8–10.1)				0	3.52	0.001
C_3	6.1 (4.3–7.1)	5.4 (4.3–6.0)	7.9 (7.5–9.6)	4	3.31	0.003	1	3.47	0.002
F_4	7.8 (5.1–8.6)*	6.5 (5.2–8.1)	9.7 (8.7–11.1)	4	3.31	0.003	0	3.52	0.001
F_3	6.4 (5.2–8.0)	6.5 (5.2–7.9)	9.2 (8.0–10.6)	2	3.42	0.002	3	3.36	0.002
T_4	2.2 (1.7–3.0)	2.2 (1.6–3.6)	2.7 (2.5–3.3)						
T_3	1.6 (1.5–2.3)	1.7 (1.5–2.4)	2.4 (1.8–3.0)	18	2.58	0.029	15	2.74	0.018
ЛТ3									
O_2	3.4 (3.2–4.8)	3.5 (2.9–4.4)	6.7 (5.6–9.8)	0	3.06	0.007	0	3.06	0.007
O_1	2.8 (2.4–4.1)	2.7 (2.2–3.4)	5.5 (4.4–8.3)	2	2.90	0.011	0	3.06	0.007
P_4	4.1 (3.2–5.4)	3.8 (3.4–4.7)	7.0 (5.9–9.2)	1	2.98	0.008	0	3.06	0.007
P_3	4.2 (2.8–4.7)	3.5 (2.8–4.1)	6.5 (4.8–7.9)	2	2.90	0.011	0	3.06	0.007
C_4	4.2 (3.9–5.3)	5.2 (3.1–5.4)	7.3 (6.1–9.1)	0	3.06	0.007	1	2.98	0.008
C_3	4.3 (3.8–6.0)	4.5 (3.6–5.0)	7.1 (6.1–8.2)	3	2.82	0.014	0	3.06	0.007
F_4	5.1 (4.4–5.4)	6.1 (4.6–7.3)	8.4 (7.0–9.8)	0	3.06	0.007	1	2.98	0.008
F_3	5.5 (4.4–6.9)	5.9 (4.3–7.3)	8.0 (7.8–9.1)	2	2.90	0.011	3	2.82	0.014
T_4	1.7 (1.5–2.0)	1.9 (1.6–2.2)	2.3 (2.2–2.8)	7	2.51	0.036	0	3.06	0.007
T_3	1.8 (1.6–2.2)	1.7 (1.6–2.0)	2.5 (1.8–3.4)	–			0	3.06	0.007

Примечание: p – значимость увеличения мощности θ_1-диапазона ЭЭГ при тестировании (Тест) по сравнению с исходным состоянием при закрытых (Ф1) и открытых (Ф2) глазах, с учетом поправки по Бонферрони. * – достоверно большая мощность θ_1-диапазона ЭЭГ у испытуемых с низкой (ЛТ1) и средней (ЛТ2) тревожностью, по сравнению с испытуемыми с высокой (ЛТ3) тревожностью ($p < 0.05$ с учетом поправки по Бенферрони).

Таблица 3. Результат "*Friedman ANOVA by Ranks*" мощности потенциалов θ_1- и β_2-диапазонов ЭЭГ в исходном состоянии при закрытых (Ф1) и открытых (Ф2) глазах и во время выполнения теста (Тест) у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью

Отведения ЭЭГ	*Friedman ANOVA*: Ф1(ЗГ)–Ф2(ОГ)–Тест		
	ЛТ1	ЛТ2	ЛТ3
	θ_1-диапазон		
O_2	$H = 14.00$; $p = 0.0009$	$H = 21.13$; $p < 0.0001$	$H = 18.17$; $p = 0.0001$
O_1	$H = 11.69$; $p = 0.0029$	$H = 12.13$; $p = 0.0023$	$H = 15.50$; $p = 0.0004$
P_4	$H = 14.00$; $p = 0.0009$	$H = 19.63$; $p < 0.0001$	$H = 15.50$; $p = 0.0004$
P_3	$H = 11.23$; $p = 0.0036$	$H = 15.50$; $p = 0.0004$	$H = 17.17$; $p = 0.0002$
C_4	$H = 14.00$; $p = 0.0009$	$H = 13.88$; $p = 0.001$	$H = 15.17$; $p = 0.0005$
C_3	$H = 11.23$; $p = 0.0036$	$H = 19.50$; $p < 0.0001$	$H = 15.17$; $p = 0.0005$
F_4	$H = 17.09$; $p = 0.0002$	$H = 17.73$; $p = 0.0001$	$H = 16.17$; $p = 0.0003$
F_3	$H = 9.69$; $p = 0.0079$	$H = 15.88$; $p = 0.0004$	$H = 10.17$; $p = 0.0062$
T_4			$H = 15.50$; $p = 0.0004$
T_3		$H = 11.38$; $p = 0.0034$	$H = 15.17$; $p = 0.0005$
	β_2-диапазон		
O_2	$H = 9.38$; $p = 0.0092$	$H = 13.73$; $p = 0.0010$	$H = 13.27$; $p = 0.0013$
O_1	$H = 6.73$; $p = 0.0346$	$H = 15.50$; $p = 0.0004$	
P_4	$H = 9.69$; $p = 0.0079$	$H = 9.29$; $p = 0.0096$	$H = 6.17$; $p = 0.046$
P_3	$H = 12.67$; $p = 0.0018$	$H = 16.35$; $p = 0.0003$	
C_4	$H = 9.39$; $p = 0.0092$		
C_3	$H = 6.17$; $p = 0.0458$	$H = 7.41$; $p = 0.0250$	
F_4	$H = 11.54$; $p = 0.0031$		
F_3	$H = 8.17$; $p = 0.0168$	$H = 7.53$; $p = 0.023$	
T_4	$H = 6.50$; $p = 0.0388$	$H = 16.62$; $p = 0.0003$	
T_3		$H = 23.63$; $p < 0.0001$	

нию с исходным состоянием с ОГ мощность θ_1-диапазона повышалась во всех областях, кроме височных, и не отличалась (за исключением отведения F_3) от наблюдавшейся при ЗГ (табл. 2).

В группе испытуемых со средней ЛТ мощность θ_1-диапазона в исходном состоянии при ОГ была ниже, чем при ЗГ в отведениях P_4 ($T = 14$; $Z = 2.79$; $p = 0.015$) и P_3 ($T = 22$; $Z = 2.38$; $p = 0.05$). Во время выполнения теста мощность θ_1 достоверно повышалась во всех отведениях, кроме T_4, и была выше, чем при ЗГ в левых теменной, центральной, височной и обеих фронтальных областях (табл. 2).

В группе с высокой ЛТ различий мощности θ_1-диапазона ЭЭГ в исходном состоянии при ЗГ и ОГ не обнаружено. При выполнении теста мощность θ_1-колебаний была достоверно выше, наблюдавшейся в исходном состоянии, как при открытых (во всех отведениях), так и при закрытых (во всех отведениях, кроме T_3) глазах.

Таким образом, у испытуемых всех выделенных групп наблюдалось повышение мощности θ_1-диапазона ЭЭГ при выполнении теста, по сравнению с состоянием, предшествующим деятельности (с ОГ). Если у испытуемых с низкой ЛТ в исходном состоянии при ЗГ мощность θ_1-диапазона не отличалась от наблюдавшейся при выполнении теста, то у индивидов с высокой ЛТ она была достоверно ниже, чем при тестировании. В некоторых отведениях мощность θ_1-диапазона ЭЭГ в исходном состоянии при ЗГ (Ф1) у испытуемых с высокой ЛТ была достоверно ниже, чем у испытуемых с высокой и средней ЛТ.

В θ_2-диапазоне ЭЭГ. Тест Краскела-Уоллеса выявил различия спектральной мощности θ_2-диапазона ЭЭГ у испытуемых с разным уровнем ЛТ ($n = 43$; $df = 2$) в исходном состоянии при ЗГ в отведениях F_4 ($H = 8.56$; $p = 0.014$), F_3 ($H = 6.51$; $p = 0.039$) и T_4 ($H = 7.11$; $p = 0.029$). Тест Манна-

Уитни показал, что у испытуемых с высокой ЛТ мощность потенциалов θ_2-диапазона была меньше, чем у испытуемых со средней ЛТ в отведении F_4, составив 4.4 (3.0–5.0) мкВ^2 и 7.0 (4.7–11.8) мкВ^2 соответственно (U = 44; Z = 2.61; p = 0.027). В группе индивидов с высокой ЛТ мощность θ_2-колебаний была ниже, чем у индивидов с низкой ЛТ в отведениях F_3, составляя 4.1 (3.3–5.1) мкВ^2 и 7.0 (4.8–9.8) мкВ^2 соответственно (U = 21; Z = = 2.47; p = 0.039), а также T_4, будучи равной 1.3 (1.0–1.4) мкВ^2 и 2.3 (1.9–3.7) мкВ^2 соответственно (U = 21; Z = 2.47; p = 0.039).

В α-диапазоне ЭЭГ. Результаты теста Краскела-Уоллеса свидетельствовали о том, что мощность α-диапазона ЭЭГ в исходном состоянии при ЗГ различалась у индивидов с разной ЛТ в отведениях C_3 (H = 6.40; p = 0.041), F_4 (H = 7.13; p = = 0.028) и F_3 (H = 7.52; p = 0.023).

Апостериорные сравнения (критерий Манна-Уитни) показали, что в этих отведениях у испытуемых с высокой ЛТ мощность α-диапазона была ниже, чем у индивидов с низкой тревожностью. В отведении C_3 при значениях 3.9 (3.2–5.3) мкВ^2 и 5.9 (4.7–10.8) мкВ^2 соответственно (U = 37; Z = = 2.41; p = 0.045); в отведении F_4 – 4.0 (2.7–5.6) мкВ^2 и 7.8 (5.1–8.6) мкВ^2 соответственно (U = 35; Z = = 2.51; p = 0.036); в отведении F_3 – 4.1 (3.2–5.5) мкВ^2 и 6.4 (5.2–8.0) мкВ^2 соответственно (U = 33; Z = = 2.62; p = 0.027).

В β_1-диапазоне ЭЭГ ни в исходном состоянии, ни при выполнении заданий статистически значимых различий мощности потенциалов у испытуемых с разным уровнем тревожности не выявлено.

В β_2-диапазоне ЭЭГ. Тест Краскела-Уоллеса не выявил достоверных различий в мощности β_2-диапазона у испытуемых выделенных групп ЭЭГ ни в исходном состоянии, ни при выполнении теста.

Тест Фридмана показал, что мощность β_2-диапазона ЭЭГ в ситуациях “Ф1”, “Ф2” и “Тест” у испытуемых с низкой и средней ЛТ различалась в большинстве отведений, а у индивидов с высокой ЛТ только в отведениях O_2 и P_4 (табл. 3).

Апостериорный анализ (тест Вилкоксона) позволил установить (табл. 4), что у испытуемых с низкой ЛТ в исходном состоянии при ЗГ (Ф1) мощность β_2-диапазона была выше, чем при ОГ (Ф2) в теменных и центральных отведениях. При выполнении теста она повышалась, по сравнению с предшествующим этапом (Ф2) во всех отведениях, кроме височных, и не отличалась от наблюдавшейся при ЗГ.

У испытуемых со средней ЛТ в исходном состоянии мощность β_2-диапазона при ЗГ была выше, чем при ОГ в отведении P_4. Во время выполнения теста мощность β_2-диапазона возрастала по сравнению с исходным состоянием с ОГ в затылочных, теменных и височных отведениях. При этом она достоверно превышала мощность, наблюдавшуюся при ЗГ в левой (T = 20; Z = 3.41; p = 0.0018) и правой (T = 5; Z = 3.26; p = 0.003) височных областях.

У испытуемых с высокой ЛТ отмечалось только увеличение мощности β_2-диапазона на ЭЭГ правой затылочной области во время выполнения теста по сравнению с исходным состоянием при ОГ.

У индивидов с разной тревожностью выявлены особенности динамики мощности β_2-диапазона при переходе от исходного состояния к выполнению заданий. При выполнении тестов, по сравнению с исходным состоянием с ОГ у индивидов с низкой ЛТ увеличение мощности β_2-потенциалов наблюдалось на ЭЭГ всех областей коры (кроме височных); у испытуемых со средней ЛТ – в затылочных, теменных и височных; а у индивидов с высокой ЛТ – только в правой затылочной области коры.

В целом обобщение результатов обследования позволяет сделать следующие заключения.

В исходном состоянии при ЗГ, у испытуемых с высокой ЛТ наблюдалась меньшая, чем у лиц со средней ЛТ мощность θ_1- (отведения P_4, F_4) и θ_2- (отведение F_4) диапазонов ЭЭГ, а также меньшая, чем у лиц с низкой ЛТ мощность θ_1- (отведения O_1, O_2 и P_3), θ_2- (отведения F_3 и T_4) и α- (C_3, F_3 и F_4) диапазонов ЭЭГ.

При выполнении теста по сравнению с состоянием, предшествующим тестированию (при ОГ), у индивидов с низкой ЛТ отмечалось возрастание мощности потенциалов как θ_1-, так и β_2-диапазонов ЭЭГ в большинстве областей коры, а у испытуемых с высокой ЛТ при увеличении мощности потенциалов θ_1, не отмечалось роста мощности β_2-диапазона ЭЭГ.

Если у испытуемых с низкой ЛТ в исходном состоянии при ЗГ мощность потенциалов θ_1-диапазона ЭЭГ в большинстве областей коры не отличалась от наблюдавшейся при выполнении теста, то у индивидов с высокой ЛТ она была достоверно ниже, чем при тестировании.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенное исследование выявило комплекс особенностей спектральных характеристик ЭЭГ в динамике когнитивной деятельности у испытуемых, различающихся по уровню личностной тревожности, специфически проявляющихся в основных частотных диапазонах.

Для обсуждения выявленных особенностей динамики мощности потенциалов θ-диапазонов

Таблица 4. Спектральная мощность потенциалов β_2-диапазона ЭЭГ (мкВ^2) у испытуемых с разной личностной тревожностью в исходном состоянии при закрытых (Ф1) и открытых (Ф2) глазах и при выполнении теста (Тест); *Med* ($q1-q4$)

Отведения ЭЭГ	Ф1(ЗГ)	Ф2(ОГ)	Тест	*Wilcoxon test*					
				Ф1(ЗГ)–Ф2(ОГ)			Ф2(ОГ)-Т		
				T	*Z*	*p*	*T*	*Z*	*p*
			ЛТ1						
O_2	7.3 (5.6–8.4)	4.5 (3.2–7.2)	7.5 (5.4–13.1)				11	2.41	0.048
O_1	4.9 (3.9–6.9)	4.3 (2.9–6.1)	6.3 (3.2–12.5)				3	2.82	0.014
P_4	5.9 (3.9–6.7)	5.0 (2.6–5.8)	5.5 (4.2–9.3)	9	2.55	0.033	8	2.43	0.045
P_3	4.1 (3.6–6.2)	3.6 (3.1–5.8)	5.6 (4.0–7.5)	4	2.75	0.018	6	2.59	0.029
C_4	5.4 (3.7–6.2)	4.7 (2.7–5.4)	5.6 (3.4–6.3)	11	2.41	0.048	4	2.75	0.018
C_3	4.4 (3.6–5.3)	3.9 (3.1–5.1)	5.1 (3.8–6.4)	5	2.67	0.023	7	2.51	0.036
F_4	5.5 (3.7–5.8)	4.9 (2.8–5.3)	5.5 (3.8–7.2)				3	2.82	0.014
F_3	4.5 (3.6–5.4)	3.8 (2.9–5.5)	4.9 (3.8–7.7)				3	2.82	0.014
T_4	4.0 (2.8–5.4)	3.6 (3.1–6.0)	7.0 (4.5–7.8)						
T_3	2.9 (2.2–3.8)	3.5 (2.7–4.3)	4.1 (2.9–7.9)						
			ЛТ2						
O_2	7.8 (5.4–9.6)	5.3 (4.0–6.8)	8.5 (6.3–10.9)				0	3.52	0.001
O_1	7.7 (5.6–9.4)	5.9 (4.2–7.7)	9.8 (6.1–17.6)				0	3.52	0.001
P_4	6.6 (4.8–7.2)	5.7 (3.6–6.1)	5.2 (4.7–10.1)	18	2.77	0.017	10	3.15	0.005
P_3	5.1 (4.5–6.8)	4.9 (3.5–6.3)	5.9 (5.2–8.4)				8	3.24	0.004
C_4	5.8 (4.5–6.9)	5.3 (3.8–6.7)	5.6 (4.1–10.1)						
C_3	5.6 (4.7–7.3)	4.6 (4.1–7.3)	6.6 (3.8–7.5)						
F_4	5.9 (4.2–6.6)	5.2 (4.4–6.4)	6.3 (4.1–10.4)						
F_3	5.8 (3.9–7.1)	5.0 (3.9–7.7)	6.5 (4.2–8.0)						
T_4	3.0 (2.1–5.6)	4.1 (2.1–7.1)	4.5 (2.5–12.4)				10	3.00	0.009
T_3	2.4 (2.2–3.8)	4.1 (2.4–4.9)	5.1 (3.4–9.4)				0	3.52	0.001
			ЛТ3						
O_2	8.8 (4.0–12.3)	4.9 (3.3–12.1)	7.9 (4.2–17.7)			–	6	2.40	0.048
O_1	6.8 (4.8–8.4)	4.9 (3.8–7.2)	7.1 (5.0–11.8)			–			
P_4	5.7 (4.0–6.7)	4.4 (3.4–5.5)	4.7 (3.5–6.9)			–			
P_3	4.2 (3.4–7.2)	3.9 (2.8–5.0)	4.8 (3.8–5.8)			–			
C_4	4.3 (3.1–5.9)	3.7 (2.6–5.0)	3.9 (3.2–5.9)			–			
C_3	3.9 (3.2–5.3)	3.9 (2.8–4.2)	4.2 (3.2–4.6)			–			
F_4	4.0 (2.7–5.6)	3.9 (3.0–5.4)	4.1 (3.4–5.9)			–			
F_3	4.1 (3.2–5.5)	4.1 (3.2–5.2)	4.4 (3.5–4.7)			–			
T_4	2.1 (1.6–3.4)	2.4 (1.8–4.1)	4.2 (2.3–6.1)			–			
T_3	2.9 (1.7–6.3)	2.6 (1.1–5.7)	4.9 (2.1–6.8)	–		–			

Примечание: p – значимость различий мощности β_2-диапазона ЭЭГ в исходным состоянием при закрытых (Ф1) и открытых (Ф2) глазах и при тестировании (Тест), с учетом поправки по Бонферрони.

ЭЭГ у индивидов с высокой и низкой тревожностью следует, во-первых, обратить внимание на тот факт, что θ-активность на ЭЭГ ассоциируют с разными компонентами таких когнитивных процессов, как внимание и память. Увеличение мощности θ-ритма в передних отделах коры рассматривают как проявление функций "селективно распределенной интегративной θ-системы", связанных с усилением ориентировочной реакции и концентрацией внимания [16]. С θ-осцилляторной системой мозга связывают активацию неспецифического внимания [17]. В то же время, полагают, что θ-ответ в ЭЭГ отражает высоко сфокусированное внимание, направленное на конкретную мишень и вызываемое внутренней значимостью определенной стимуляции или ее репрезентации в памяти [18, 19]. Рост мощности θ-осцилляций в височных, теменных и затылочных областях коры отмечают при удержании следа в рабочей памяти [20]. Анализ когерентности θ-ритма дал основания полагать, что в реализации памяти принимают участие, по крайней мере, две системы функциональных связей, объединяющих корковые зоны на основе синхронизации их активности по θ-ритму. Одна θ-система связана с активацией мотивационных лимбических структур, в том числе дорзальной части передней цингулярной коры, и обеспечивает функциональную интеграцию этих структур с префронтальной и височной корой при мобилизации неспецифического внимания (мотивационный компонент рабочей памяти). Другая θ-система связана с активацией гиппокампальных структур и обеспечивает функциональную интеграцию гиппокампа и неокортекса при увеличении нагрузки на процессы памяти (мнестический компонент рабочей памяти) [17].

Во-вторых, целесообразно, на наш взгляд, обратиться к концепции, в соответствии с которой тревожность рассматривается как особая форма оборонительного поведения, которая тормозит ориентировочно-исследовательскую деятельность [21]. Сегодня можно считать установленным, что ориентировочно-исследовательская деятельность животного и человека побуждается особой потребностью в получении новой информации. Одной из детерминант, стимулирующих исследовательскую деятельность, является неопределенность ранее полученной информации. Цель ориентировочно-исследовательской деятельности в такой ситуации – получить недостающие уточняющие сведения и тем самым снизить неопределенность ситуации [22].

Именно как недостаточно определенную можно охарактеризовать ситуацию, когда в нашем исследовании у испытуемых регистрировали исходную ЭЭГ, после предварительного ознакомления с процедурой обследования, но до конкретной инструкции по выполнению задания (Ф1 при ЗГ). Можно полагать, что высокая мощность колебаний θ_1-диапазона ЭЭГ, характерная в этой ситуации для испытуемых с низкой личностной тревожностью отражает активацию механизмов неспецифического внимания, обусловленного преобладанием ориентировочного компонента в структуре мотивации у этих индивидов. Меньшая мощность θ_1-потенциалов ЭЭГ у испытуемых с высокой тревожностью в ситуации неопределенности обусловлена, вероятно, преобладанием оборонительной формы поведения, тормозящим ориентировочно-исследовательскую деятельность [21]. Такие предположения не противоречат приведенным выше данным об ассоциации θ-осцилляций с ориентировочной реакцией [16], активностью мотивационных лимбических структур и неспецифическим вниманием [17]. Однако в нашем исследовании показано, что активация неспецифического внимания как компонента ориентировочно-исследовательской деятельности в ситуации неопределенности, проявляющаяся в высокой мощности θ_1-осцилляций ЭЭГ, была характерна для индивидов с низкой личностной тревожностью и не отмечалась у индивидов с высокой тревожностью. По характеру динамики потенциалов θ_1-диапазона ЭЭГ в процессе обследования испытуемые со средним уровнем личностной тревожности занимали промежуточное положение.

Различия мощности потенциалов θ_1-, θ_2- и α-диапазонов, обнаруженные у испытуемых с разной личностной тревожностью, в максимальной степени проявлялись на ЭЭГ, зарегистрированной при ЗГ, в условиях ограничения сенсорного притока, являющегося мощным активирующим фактором. Этот факт находит подтверждение в литературе, а именно, специфические отклонения спектральной мощности ЭЭГ у пациентов с тревожно-депрессивным синдромом разных возрастных групп также в наибольшей степени проявлялись на ЭЭГ при ЗГ [23].

При исследовании роли осцилляторных систем мозга в механизмах индивидуальной вариабельности оборонительного рефлекса сердца, было показано вовлечение высокочастотной α-активности в механизмы центрального контроля длиннолатентного повышения АД и ЧСС [24]. Причем топографически в сопряжение были вовлечены лобные, лобно-центральные и центральные области коры обоих полушарий. Сохраняющаяся "после отмены" угрозы десинхронизация α-активности в этих областях коры рассматривается как свойство экстернализации внимания и сканирования окружающего пространства на предмет угрозы.

С учетом этих представлений меньшую мощность колебаний α-диапазона ЭЭГ левой центральной и фронтальных областей, характерную

для индивидов с высокой тревожностью можно соотнести с активностью оборонительной мотивационной системы. Можно полагать, что меньшая мощность потенциалов α-диапазона ЭЭГ фронтальных и левой центральной областей коры, наблюдавшаяся у испытуемых с высокой личностной тревожностью, отражает активацию и характерное для них усиление внимания к возможным "угрожающим" стимулам, соответствуя преобладанию оборонительной формы поведения [4].

Наблюдаемое у испытуемых всех групп достоверное увеличение мощности потенциалов θ_1-диапазона ЭЭГ при выполнении тестов по сравнению с ситуацией непосредственно предшествующей деятельности (после инструкции, Ф2 при ОГ) наблюдавшееся практически во всех областях коры, отражает активацию специфического произвольного внимания и удержание информации в рабочей памяти.

Общим для испытуемых всех групп ЭЭГ коррелятом выполнения теста явилось увеличение мощности β_2-диапазона ЭЭГ правой затылочной области коры. Учитывая, что выполнение компьютерного варианта теста с черно-красными таблицами подразумевает активацию зрительной памяти такое повышение можно рассматривать как ЭЭГ-коррелят модально специфического информационного компонента рабочей памяти, связанного с выполнением зрительно-моторного задания [25]. Ранее нами было показано повышение мощности β_2-ритма в обеих затылочных областях коры у испытуемых при воспроизведении на экране монитора последовательности сигналов, также рассматриваемого как коррелят модально-специфического компонента рабочей памяти [26].

Помимо общего для всех испытуемых компонента были обнаружены и особенности динамики мощности потенциалов β_2-диапазона при выполнении теста у испытуемых, различающихся по уровню личностной тревожности. С активностью β_2-осцилляторной системы мозга традиционно связывают разные когнитивные процессы, в том числе, внимание и перцепцию [27]. В нашем исследовании показано, что увеличение мощности β_2-потенциалов ЭЭГ во всех областях коры (кроме височных) при активации произвольного внимания характерно для испытуемых с низкой личностной тревожностью, в отличие от индивидов с высокой тревожностью, у которых не наблюдалось роста мощности β_2-потенциалов ЭЭГ ни в одной из областей, кроме правой затылочной.

Проведенное исследование показало, что у индивидов с разной личностной тревожностью достижение формально одинакового результата при тестировании внимания осуществляется при разной степени вовлечения нейрокогнитивных сетей, осциллирующих в θ_1-, α- и β_2-диапазонах, обусловленной, в частности, соотношением ориентировочного и оборонительного компонентов спектра мотивационной активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование выявило особенности спектральной мощности θ_1-, α- и β_2-диапазонов ЭЭГ у испытуемых с различным уровнем личностной тревожности при достижении формально одинаковых результатов когнитивной деятельности.

В исходном состоянии при закрытых глазах у испытуемых с низкой личностной тревожностью отмечалась большая, чем у индивидов с высокой тревожностью мощность потенциалов θ_1-диапазона ЭЭГ (в затылочных и левой теменной областях), обусловленная, вероятно, преобладанием ориентировочного компонента спектра мотивации. В этой же ситуации у индивидов с высокой личностной тревожностью наблюдалось меньшая, чем у лиц с низкой тревожностью мощность потенциалов α-диапазона ЭЭГ фронтальных и левой центральной областей коры, отражающая, вероятно, преобладание оборонительного компонента спектра мотивационной активности.

У индивидов с низкой личностной тревожностью активация произвольного внимания при выполнении теста связана с возрастанием мощности потенциалов как θ_1, так и β_2-диапазонов ЭЭГ большинства областей коры. У индивидов с высокой тревожностью при активации произвольного внимания отмечалось увеличение мощности потенциалов θ_1-диапазона и не наблюдалось роста мощности β_2-потенциалов ЭЭГ большинства областей коры.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Научно-исследовательского института нормальной физиологии им. П.К. Анохина (Москва).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Spielberger C.D., Ritterband L.M., Sydeman S.J. et al.* Assessment of emotional states and personality traits: measuring psychological vital signs / Clinical Personality Assessment: Practical Approaches // Ed. Butcher J.N. N.Y.: Oxford University Press, 1995. P. 42.
2. *Хекхаузен Х.* Мотивация и деятельность. 2-е изд. СПб.: Питер; М.: Смысл, 2003. 859 с.
3. *Афтанас Л.И., Павлов С.В.* Особенности межполушарного распределения спектров мощности ЭЭГ у высокотревожных индивидуумов в эмоционально-нейтральных условиях и при отрицательной эмоциональной активации // Журн. высш. нервн. деят. 2005. Т. 55. № 3. С. 322.
4. *Derryberry D., Reed M.A.* Anxiety-related attentional biases and their regulation by attentional control // J. Abnorm. Psychol. 2002. V. 111. № 2. P. 225.
5. *Gray J.A., McNaughton N.* The Neuropsychology of anxiety: an enquiry into the functions of the septohippocampal system. 2nd ed. Oxford University Press, 2000. 444 p.
6. *Джебраилова Т.Д.* Спектральные характеристики ЭЭГ у студентов с различной личностной тревожностью в ситуации экзаменационного стресса // Журнал высш. нервн. деят. 2003. Т. 53. № 4. С. 495.
7. *Стрелец В.Б., Голикова Ж.В., Новотоцкий-Власов В.Ю. и др.* Исследование уровня внутрикоркового взаимодействия в бета2-диапазоне при экзаменационном стрессе // Журн. высш. нервн. деят. 2002. Т. 52. № 4. С. 417.
8. *Князев Г.Г., Савостьянов А.Н., Левин Е.А. и др.* Электроэнцефалографические корреляты тревожности // Бюллетень СО РАМН. 2009. № 1. С. 74.
9. *Heller W., Nitschke J.B., Etienne M.A., Miller G.A.* Patterns of regional brain activity differentiate types of anxiety // J. Abnorm. Psychol. 1997. V. 106. P. 376.
10. *Nitschke J.B., Heller W., Palmieri P.A., Miller G.A.* Contrasting patterns of brain activity in anxious apprehension and anxious arousal // Psychophysiology. 1999. V. 36. P. 628.
11. *Трушина Д.А., Ведясова О.А., Павленко С.И.* Пространственная картина ритмов электроэнцефалограммы у студентов правшей с разными уровнями тревожности в покое и во время экзаменационного стресса // Ульяновский медико-биологический журн. 2016. № 2. С. 141.
12. *Ханин Ю.Л.* Краткое руководство к применению шкалы реактивной и личностной тревожности Ч.Д. Спилбергера. Л.: ЛНИИФК, 1976. 130 с.
13. Руководство. Методика Ф.Д. Горбова “Красно-черная таблица” / Альманах психологических тестов. Сост.: Римский Р.Р., Римская С.А. М.: КСП, 1995. С. 117.
14. *Гржибовский А.М., Иванов С.В., Горбатова М.А.* Сравнение количественных данных трех и более независимых выборок с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS: параметрические и непараметрические критерии // Наука и здравоохранение. 2016. № 4. С. 5.
Grjibovski A.M., Ivanov S.V., Gorbatova M.A. [Analysis of quantitative data in three or more independent groups using Statistica and SPSS software: parametric and non-parametric tests] // Nauka i Zdravookhranenie [Science & Healthcare]. 2016. № 4. P. 5.
15. *Гржибовский А.М., Иванов С.В., Горбатова М.А.* Сравнение количественных данных трех и более парных выборок с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS: параметрические и непараметрические критерии // Наука и здравоохранение. 2016. № 5. С. 5.
Grjibovski A.M., Ivanov S.V., Gorbatova M.A. [Analysis of quantitative data in two non-independent groups using Statistica and SPSS software: parametric and non-parametric tests] // Nauka i Zdravookhranenie [Science & Healthcare]. 2016. № 5. P. 5.
16. *Basar E., Schurmann M., Sakowitz O.* The selectively distributed theta system: functions // Int. J. Psychophysiol. 2001. V. 39. № 2. P. 197.
17. *Мачинская Р.И., Розовская Р.И., Курганский А.В., Печенкова Е.В.* Корково-корковое функциональное взаимодействие при удержании эмоционально окрашенных изображений в рабочей памяти. Анализ когерентности тета-ритма ЭЭГ в пространстве источников // Физиология человека. 2016. Т. 42. № 3. С. 56.
Machinskaya R.I., Rozovskaya R.I., Kurgansky A.V., Pechenkova E.V. Cortical functional connectivity during the retention of affective pictures in working memory: EEG-source theta coherence analysis // Human Physiology. 2016. V. 42. № 3. P. 279.
18. *Stroganova T.A., Orekhova E.V.* EEG and infant states / Infant EEG and Event Related Potentials. Ed. M. de Haan. N.Y.: Psychology Press, 2013. P. 251.
19. *Новикова С.И.* Ритмы ЭЭГ и когнитивные процессы // Современная зарубежная психология. 2015. Т. 4. № 1. С. 91.
Novikova S.I. EEG rhythms and cognitive processes // J. Modern Foreign Psychology. 2015. V. 4. № 1. P. 91.
20. *Sauseng P., Klimesch W., Heise K.F. et al.* Brain oscillatory substrates of visual short-term memory capacity // Current Biol. 2009. V. 19. № 21. P. 1846.
21. *Данилова Н.Н., Коршунова С.Г., Соколов Е.Н., Чернышенко Е.Н.* Зависимость сердечного ритма от тревожности как устойчивой индивидуальной характеристики // Журн. высш. нервн. деят. 1995. Т. 45. № 1. С. 647.
22. *Данилова Н.Н.* Ориентировочно-исследовательская деятельность / Психофизиология. 4-е изд. Под ред. Александрова Ю.И. СПб.: Питер, 2014. С. 189.
23. *Шамаева Т.Ф., Пронина М.В., Полякова Г.Ю. и др.* Электрофизиологические корреляты тревожно-депрессивного синдрома у пациентов разных возрастных групп // Физиология человека. 2018. Т. 44. № 1. С. 5.
Shamaeva T.F., Pronina M.V., Polyakova G.Yu. et al. Electrophysiological Correlates of Major Depression Disorder with Anxious Distress in Patients of Different Age Groups // Human Physiology. 2018. V. 44. № 1. P. 1.
24. *Афтанас Л.И., Брак И.В., Рева Н.В., Павлов С.В.* Осцилляторные системы мозга и индивидуальная вариабельность оборонительного рефлекса сердца у человека // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2013. Т. 99. В. 11. С. 1342.

25. *Palva S., Kulashekhar S., Hämäläinen M., Palva J.M.* Localization of cortical phase and amplitude dynamics during visual working memory encoding and retention // J. Neurosci. 2011. V. 31. № 13. P. 5013.

26. *Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И.* Пространственная организация бета-2 ритма ЭЭГ и эффективность когнитивной деятельности человека // Журн. высш. нервн. деят. 2013. Т. 63. № 6. С. 667. *Dzhebrailova T.D., Korobeinikova I.I.* [Spatial Organization of the Beta2 EEG Frequency Band and Effectiveness of the Intellectual Activity in Humans] // Zh. Vyssh. Nerv. Deiat. Im. I.P. Pavlova. 2013. V. 63. № 6. P. 667.

27. *Pulvermüller F., Birbaumer N., Lutzenberger W., Mohr B.* High-frequency brain activity: Its possible role in attention, perception and language processing // Progress Neurobiol. 1997. № 52. P. 427.

Dynamics of EEG Spectral Characteristics in Subjects with Various Trait Anxiety Levels Performing Cognitive Tests

T. D. Dzhebrailova[a, b, *], I. I. Korobeinikova[a, **], N. A. Karatygin[a, b], E. V. Biryukova[b], Y. A. Venerina[b]

[a]*Anokhin Institute of Normal Physiology, Moscow, Russia*

[b]*Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia*

**E-mail: dzhebrailova@mail.ru*

***E-mail: i_korobeinikova@mail.ru*

EEG spectral power (θ_1-, θ_2-, α-, β_1- and β_2-ranges) was studied in subjects ($n = 43$, men, aged 18–21 years) with various trait anxiety levels during attention testing. Preliminarily were assessed trait and state anxiety levels according to Spielberger. At the initial state (with the eyes closed), the subjects with low trait anxiety demonstrated significantly higher power of the EEG θ_1- (in the occipital and left parietal cortical areas) and θ_2- (in the left frontal and right temporal areas) bands than those with high anxiety level. At the same time, lower power of the EEG α-band (in the left central and frontal areas) was observed in subjects with high trait anxiety level, comparing to those with low anxiety levels. During testing the subjects with low anxiety demonstrated significant increase of spectral power in θ_1- and β_2-EEG frequency ranges in all areas of the cortex (except the temporal) compared with the preceding periods (with the eyes open). The increase of spectral power in θ_1-EEG band was also noted in subjects with high trait anxiety level during the test. However, there was no intensification of β_2-rhythm of the EEG. One can assume that EEG indices dynamics pattern reflects the domination either orienting or defensive component in the motivational structure in subjects with various trait anxiety levels.

Keywords: attention, anxiety, EEG θ_1-, θ_2-, α-, β_1- и β_2-band.