

УДК 612.821

СВЯЗЬ ЛИЧНОСТНОЙ ТРЕВОЖНОСТИ СО СПЕКТРАЛЬНО-КОГЕРЕНТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ А1-РИТМА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ ЧЕЛОВЕКА

^{1,2}Каратыгин Н.А., ¹Коробейникова И.И., ²Венерина Я.А., ²Бирюкова Е.В.

¹ФГБНУ «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина»,
Москва, e-mail: nikol.karatygin@yandex.ru, i_korobeinikova@mail.ru;

²ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет
им. И.М. Сеченова» Минздрава РФ, Москва

С целью выявления показателей ЭЭГ, которые могли бы служить коррелятами личностной тревожности, исследовали спектрально-когерентные характеристики ЭЭГ $\alpha 1$ -диапазона у 42 испытуемых (мужчины в возрасте 18–21 года). В качестве тестового задания использовался компьютеризированный тест Горбова – Шульте (красно-черные таблицы). Оценка личностной тревожности (по Спилбергеру) проводилась до тестирования. Были выделены лица с низкой и высокой личностной тревожностью. У низкотревожных испытуемых наблюдалась более высокая мощность $\alpha 1$ -ритма в фоне при закрытых глазах и в состоянии спокойного бодрствования при открытых глазах после выполнения всех тестовых заданий. Когерентность потенциалов $\alpha 1$ -диапазона ЭЭГ была выше в исходном состоянии в ряде отведений у низкотревожных испытуемых, а при выполнении заданий – у высокотревожных. У низкотревожных и высокотревожных лиц существенно различался паттерн изменения картины когерентных связей во время выполнения тестовых заданий. При выполнении заданий у низкотревожных испытуемых межполушарная когерентность снижалась и сокращалось количество высококогерентных межполушарных связей. У высокотревожных испытуемых количество высококогерентных связей существенно не изменялось. Таким образом, у низкотревожных испытуемых, в отличие от высокотревожных, имела место лабильность паттерна когерентных связей.

Ключевые слова: личностная тревожность, ЭЭГ, альфа-ритм, когерентность

THE RELATIONSHIP OF TRAIT ANXIETY WITH A SPECTRAL-COHERENT CHARACTERISTICS OF $\alpha 1$ -RHYTHM IN THE HUMAN EEG

^{1,2}Karatygin N.A., ¹Korobeynikova I.I., ²Venerina Ya.A., ²Biryukova E.V.

¹P.K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology, Moscow,

e-mail: nikol.karatygin@yandex.ru, i_korobeinikova@mail.ru;

²First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow

In order to identify EEG correlates of trait anxiety, spectral-coherent characteristics of EEG $\alpha 1$ -band were calculated in 42 subjects (men aged 18–21). Computerized version of Gorbov – Shulte's test was used as a test task. Assessment of trait anxiety (according to Spielberger) was conducted before testing. Subjects with low and high trait anxiety were singled out. It was revealed, that low-anxiety subjects were characterized with a higher power of $\alpha 1$ -rhythm in the initial state with the eyes closed and in a state of quiet wakefulness with eyes opened after passing through the all test tasks. Coherence of biopotentials of the $\alpha 1$ -range of EEG was higher in the initial state in a number of leads in low – anxiety subjects, comparing with high-anxiety subjects who demonstrated higher coherence during tasks performance. The pattern of coherent connections was significantly different in low- and high – anxiety subjects during execution of the tests. Interhemispheric coherence decreased during low-anxiety subjects passed through the tasks in, as well as the number of high-coherence interhemispheric connections reduced. The number of high-coherence bonds did not change significantly in high-anxiety subjects. As a result, lability of pattern of coherent relations was observed in low-anxiety subjects, in comparison with high-anxiety ones.

Keywords: trait anxiety, EEG, alpha rhythm, coherence

Под тревожностью обычно понимают индивидуальную психологическую особенность, которая проявляется в переживании эмоционального дискомфорта, обусловленного антиципацией человеком ожидающейся угрожающей или неблагоприятной ситуации, а также в низком пороге возникновения состояния тревоги [1].

Тревожность может быть адекватной, когда она выполняет приспособительную функцию подготовки организма к встрече с реальной угрожающей ситуацией, и неадекватной, когда человек воспринимает объективно безопасные ситуации как угро-

жающие и реагирует на них развитием состояния тревоги.

Часто выделяют ситуационную и личностную тревожность (ЛТ). Состояние ситуационной тревожности возникает в ответ на конкретную ситуацию, имеющую какие-либо стрессовые факторы. Тревожность как личностная диспозиция определяется тем, насколько часто и интенсивно человек испытывает состояние тревоги, и соотносится скорее с неадекватной формой тревожности [2].

Несмотря на то, что поискам электрофизиологических коррелятов тревожности

посвящено большое количество исследований, до сих пор нет однозначного понимания, какие спектрально-пространственные характеристики ЭЭГ наиболее репрезентативны для определения уровня тревожности человека. С тревожностью связывают разные диапазоны биоэлектрической активности мозга, однако чаще всего коррелируют тревожности обнаруживаются в рамках α -ритма ЭЭГ. Установлена непосредственная связь уровня тревожности с разными характеристиками α -активности [3]. Показана связь личностной тревожности с мощностью α -ритма в ситуации экзаменационного стресса [4]. В ряде работ применяется БОС-тренинг, ориентированный на управление частотно-амплитудными характеристиками α -ритма, для снятия состояний тревоги и депрессии [5, 6]. Результаты подобных исследований подтверждают, что именно α -ритм является необходимым компонентом имеющим отношение к физиологическому обеспечению состояния тревоги.

В. Клемешем предложена концепция «inhibition-timing hypothesis» [7, 8]. Согласно этой концепции синхронизация α -колебаний может отражать процессы нисходящего контроля, благодаря которым происходит торможение нерелевантной информации, что обеспечивает работу механизмов избирательного произвольного внимания. Кроме этого, α -синхронизация может быть связана с формированием временной структуры процессов прохождения информации по разным корковым зонам. Десинхронизация α -ритма отражает уменьшение торможения и вовлечение большого числа нейронов в обработку информации.

Согласно современным представлениям, α -активность не является однородной, и существует несколько самостоятельных систем генерации α -ритма, которые могут выполнять различные функции. Показано, что α -активность может являться частью системы аффективного внимания [9]. Причем связь с процессами произвольного внимания имеет именно низкочастотная компонента α -ритма (α_1) [8], тогда как с произвольным вниманием чаще ассоциируют высокочастотную α -активность [10]. Можно предположить, что тревожность также связана с задействованием системы произвольного внимания, что обусловлено постоянным произвольным мониторингом возможных опасностей, а следовательно корреляты тревожности будут проявляться в низкочастотном α -диапазоне.

Принимая во внимание вышеизложенное, можно заключить, что на сегодняшний день не выработано единой позиции относительно того, какие показатели ЭЭГ

наиболее адекватно отражают уровень тревожности вообще и уровень личностной тревожности в частности. С другой стороны, имеются веские основания считать, что показатели ЭЭГ, наиболее тесно связанные с тревожностью, могут находиться в диапазоне низкочастотного α -ритма.

Целью данного исследования было определение спектрально-когерентных характеристик α_1 -диапазона ЭЭГ, которые могли бы служить коррелятами личностной тревожности.

Материалы и методы исследования

В исследовании на основе добровольного информированного согласия участвовали 42 испытуемых (мужчины в возрасте 18–21 года). Процедура обследования соответствовала стандартам локального этического комитета Первого МГМУ им. И.М. Сеченова. В качестве зрительно-моторной задачи использовался компьютеризированный тест Горбова-Шульте (красно-черные таблицы). Обследование состояло из двух заданий. Во время обследования испытуемый находился в удобном кресле перед экраном монитора (17 дюймов). На мониторе отображалась таблица (7х7 квадратов), содержащая 24 красных и 25 черных квадратов, на каждом из которых имелся собственный номер. Паттерны расположения квадратов для каждого задания были изначально заданы методом случайной генерации. Для всех испытуемых использовался одинаковый набор паттернов.

На основе предварительной инструкции испытуемый должен был в первом задании (КЧ) выбрать (указать курсором мышки) черные квадраты в порядке возрастания их номеров (от 1 до 25), а затем – красные квадраты в порядке убывания номеров (от 24 до 1). Во втором задании (ЧЕРЕД) испытуемый должен был выбрать по очереди черные и красные квадраты, черные в порядке возрастания, а красные в порядке убывания: 1 черный, 24 красный, 2 черный, 23 красный и т.д.

По результатам выполнения компьютерной задачи для каждого испытуемого вычисляли время между последовательными кликами по квадратам, величина которого усреднялась по каждому заданию (среднее время клика, мс) и число допущенных при этом ошибок.

У испытуемых тестировали уровень личностной тревожности (STAI) по Ч. Спилбергеру, в модификации Ю.Л. Ханина.

ЭЭГ регистрировали в исходном состоянии при открытых (Ф1ОГ) и закрытых (Ф1ЗГ) глазах, во время выполнения заданий (КЧ, ЧЕРЕД) и в состоянии спокойного бодрствования после выполнения заданий (Ф2ОГ). ЭЭГ регистрировали с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-спектр» (г. Иваново) монополярно по схеме «10–20» в затылочных (О2, О1), теменных (Р4, Р3), центральных (С4, С3), лобных (F4, F3) и височных (Т4, Т3) отведениях. Объединенные референтные электроды располагались на мочках ушей. Полоса фильтрации составляла 0,5–35,0 Гц, постоянная времени – 0,32 с, режестивный 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 «Статокин», г. Москва). Артефакты исключали из анализируемой записи

с использованием возможностей программного комплекса BRAINSYS. Спектрально-когерентный анализ ЭЭГ проводили на основе быстрого преобразования Фурье (пакет программ BRAINSYS). Эпоха анализа составляла 4 сек при длительности каждого фрагмента в 1 мин, частота оцифровки – 200 Гц. Рассчитывали спектральную мощность $\alpha 1$ -диапазона (7–10 Гц) ЭЭГ. Для всех пар отведений вычисляли средние значения функции когерентности (Кког) в $\alpha 1$ -диапазоне. Для статистической обработки использовался программный пакет STATISTICA v.8.0. При нормальном распределении анализируемых показателей вычисляли среднее значение (M) и стандартную ошибку среднего (m). Достоверность различий анализируемых показателей у испытуемых выделенных групп оценивали с помощью t -критерия для независимых выборок. Достоверность изменения значений показателей в разных ситуациях у одной группы испытуемых оценивали с использованием t -критерия для связанных выборок.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам тестирования по группе испытуемых в целом среднее значение ЛТ равнялось $36 \pm 1,33$ балла, при индивидуальном разбросе от 23 до 67 баллов. Выделены группы испытуемых с низкой (1-я группа; $M = 28,36 \pm 0,66$ баллов; 14 человек) и высокой (2-я группа; $M = 45,85 \pm 2,26$ баллов; 13 человек) ЛТ.

По результатам выполнения компьютерной задачи достоверных различий по количеству ошибок (КЧ $p = 0,487$, ЧЕРЕД $p = 0,28$) и по среднему времени клика (КЧ $p = 0,732$, ЧЕРЕД $p = 0,919$) между испытуемыми 1-й и 2-й групп не наблюдалось.

Проведенный спектральный анализ показал, что у испытуемых с низкой ЛТ в исходном состоянии при закрытых глазах мощность потенциалов $\alpha 1$ -диапазона ЭЭГ

была во всех отведениях достоверно выше, чем у испытуемых с высокой ЛТ (табл. 1). Также у лиц 1-й группы мощность потенциалов $\alpha 1$ -диапазона была достоверно выше в некоторых отведениях (P4, C4, C3, F4, F3) при открытых глазах в состоянии спокойного бодрствования после выполнения всех заданий (Ф2ОГ) (табл. 1). На всех остальных этапах обследования (Ф1ОГ, КЧ, ЧЕРЕД) различия по мощности $\alpha 1$ -ритма между испытуемыми обеих групп не зарегистрированы (кроме Т4 в ЧЕРЕД).

Анализ коэффициентов когерентности биопотенциалов $\alpha 1$ -диапазона выявил существенные различия между выделенными группами в фоне при закрытых глазах и во время выполнения задания на этапах КЧ и ЧЕРЕД.

У испытуемых 1-й группы на этапе Ф1ЗГ зарегистрированы достоверно более высокие Кког в гомологичных межполушарных взаимосвязях (О1-О2, P3-P4, C3-C4, F3-F4), а также в ряде негомологичных межполушарных взаимосвязей (О2-P3, C3-T4, C4-T3, C4-F3, F3-T4, F4-T4, F4-T3) (табл. 2).

На этапе КЧ наблюдалась обратная ситуация: достоверно более высокие Кког отмечались у испытуемых 2-й группы. Различия были зарегистрированы в гомологичных межполушарных взаимосвязях (О1-О2, P3-P4, C3-C4, F3-F4) и в негомологичных межполушарных связях (О1-T4, О1-P4, P4-C3, P4-F3, P4-T3, P3-C4, C4-F3, C3-F4) (табл. 2).

На этапе ЧЕРЕД достоверно более высокие Кког у испытуемых 2-й группы имели место в гомологичных (О1-О2, P3-P4, C3-C4) и в негомологичных (О1-T4, P3-C4, P4-C3, P4-F3, F3-C4) межполушарных связях и в связи F4-T4 (табл. 2).

Таблица 1

Спектральная мощность потенциалов $\alpha 1$ -диапазона ЭЭГ у испытуемых с разной личностной тревожностью в исходном состоянии при закрытых глазах (Ф1ЗГ) и при открытых глазах в состоянии спокойного бодрствования после выполнения задания (Ф2ОГ)

Отведения ЭЭГ	Ф1ЗГ			Ф2ОГ		
	Группа 1 ($M \pm m$; мкВ ²)	Группа 2 ($M \pm m$; мкВ ²)	p	Группа 1 ($M \pm m$; мкВ ²)	Группа 2 ($M \pm m$; мкВ ²)	p
О2	$80,84 \pm 16,22$	$26,80 \pm 10,19$	0,0104	–	–	–
О1	$63,62 \pm 10,04$	$29,58 \pm 12,63$	0,0436	–	–	–
P4	$50,90 \pm 11,49$	$18,27 \pm 5,39$	0,0191	$19,97 \pm 3,35$	$10,30 \pm 3,27$	0,0499
P3	$49,08 \pm 12,33$	$15,03 \pm 4,72$	0,0191	–	–	–
C4	$29,37 \pm 4,21$	$11,07 \pm 2,90$	0,0017	$14,82 \pm 2,59$	$6,93 \pm 1,58$	0,0171
C3	$31,56 \pm 5,15$	$9,96 \pm 2,24$	0,0010	$14,25 \pm 2,57$	$6,87 \pm 1,52$	0,0227
F4	$27,99 \pm 3,49$	$10,24 \pm 2,52$	0,0004	$13,49 \pm 2,63$	$6,82 \pm 1,44$	0,0390
F3	$28,00 \pm 3,88$	$9,56 \pm 1,97$	0,0003	$13,43 \pm 2,81$	$6,72 \pm 1,44$	0,0482
T4	$8,85 \pm 1,30$	$3,88 \pm 0,97$	0,0055	–	–	–
T3	$9,22 \pm 1,28$	$4,25 \pm 1,25$	0,0104	–	–	–

На этапах Ф1ОГ и Ф2ОГ достоверных отличий между группами по Кког $\alpha 1$ -диапазона выявлено практически не было (за исключением связей С3-Т4 на этапе Ф2ОГ).

Таким образом, у испытуемых 1-й группы по сравнению с лицами 2-й на этапе Ф1ЗГ межполушарные Кког в ряде пар отведений ЭЭГ были достоверно выше, а на этапах КЧ и ЧЕРЕД – достоверно ниже. Анализ причин подобных изменений выявил, что у испытуемых 1-й группы выполнение заданий сопровождалось достоверным уменьшением исходно высоких межполушарных Кког в большом количестве пар отведений при сравнении Ф1ЗГ как с КЧ (О2-О1, О2-Р3, О2-С3, О2-Т3, О1-Р4, Р4-Р3, Р4-С3, Р4-Ф3, Р4-Т3, Р3-С4, Р3-Т4, С4-С3, С4-Ф3, С4-Т3, С3-Ф4, С3-Т4, F4-F3, F3-T4, T3-T4), так и с ЧЕРЕД (О2-О1, О2-Р3, О2-С3, О2-Т3, О1-Р4, О1-Т4, Р4-Р3, Р4-С3, Р4-Ф3, Р4-Т3, Р3-С4, Р3-Т4, С4-С3, С4-Ф3, С4-Т3, С3-Ф4, С3-Т4, F4-F3, F3-T4, T3-T4). У испытуемых 2-й группы во время выполнения заданий межполушарные Кког достоверно увеличивались в отведениях: О2-С3, О1-Р4, О1-С4, Р4-С3, Р4-Ф3, С4-Т3, С3-Т4 при сравнении Ф1ЗГ и КЧ; О2-С3, О1-С4, С4-Т3, С3-Т4 при сравнении Ф1ЗГ и ЧЕРЕД.

По каждому этапу обследования была составлена карта топографического расположения когерентных связей $\alpha 1$ -диапазона для испытуемых 1-й и 2-й групп (рис. 1). На карте представлены только высококогерентные связи, Кког которых превышал 0,55.

Как видно из рис. 1, у лиц с низкой ЛТ имело место различное количество межполушарных связей на этапах спокойного бодрствования (Ф1ЗГ, Ф1ОГ, Ф2ОГ) и на этапах выполнения заданий (КЧ, ЧЕРЕД). У испытуемых с высокими показателями ЛТ такого различия в количестве связей на этапах спокойного бодрствования и на этапах выполнения заданий не наблюдалось.

В целях более детального анализа выявленной закономерности для каждого испытуемого было подсчитано количество высококогерентных межполушарных (за исключением связей с височными зонами Т3 и Т4) связей (Кког > 0,55) на каждом этапе обследования, после чего было определено среднее количество таких связей для испытуемых 1-й и 2-й групп. Обнаружено, что у испытуемых 1-й группы при выполнении заданий количество когерентных связей было достоверно ниже относительно предшествующего или последующего этапов спокойного бодрствования (Ф1ЗГ-КЧ $p = 0,00027$; ЧЕРЕД-Ф2ОГ $p = 0,0053$) (рис. 2). В отличие от них у испытуемых 2-й группы количество межполушарных связей во время выполнения заданий относительно этапов спокойного бодрствования достоверно не изменялось.

Следует отметить, что количество межполушарных связей у испытуемых 1-й группы во время выполнения заданий было достоверно ниже, чем у лиц 2-й группы (КЧ $p = 0,00258$; ЧЕРЕД $p = 0,0141$).

Таблица 2

Значения Кког $\alpha 1$ -диапазона ЭЭГ у испытуемых 1-й и 2-й групп на этапах обследования

Этапы обследования											
Ф1ЗГ				КЧ				ЧЕРЕД			
Пары отвед.	1 гр.	2 гр.	p	Пары отвед.	1 гр.	2 гр.	p	Пары отвед.	1 гр.	2 гр.	p
О2-О1	0,722	0,602	0,027	О2-О1	0,563	0,646	0,010	О2-О1	0,546	0,621	0,031
О2-Р3	0,592	0,473	0,050	О1-Р4	0,524	0,585	0,047	О1-Т4	0,292	0,371	0,032
О2-Т4	0,596	0,714	0,025	О1-Т4	0,321	0,404	0,046	Р4-Р3	0,538	0,628	0,034
Р4-Р3	0,751	0,617	0,020	Р4-Р3	0,548	0,662	0,006	Р4-С3	0,423	0,539	0,022
С4-С3	0,802	0,684	0,031	Р4-С3	0,441	0,577	0,004	Р4-Ф3	0,306	0,399	0,035
С4-Ф3	0,727	0,600	0,014	Р4-Ф3	0,314	0,435	0,009	Р3-С4	0,477	0,569	0,033
С4-Т3	0,415	0,247	0,011	Р4-Т3	0,325	0,400	0,030	С4-С3	0,530	0,633	0,043
С3-Т4	0,434	0,196	0,002	Р3-С4	0,499	0,594	0,005	С4-Ф3	0,476	0,580	0,045
Ф4-Ф3	0,831	0,717	0,036	С4-С3	0,545	0,666	0,002	Ф4-Т4	0,544	0,421	0,032
Ф4-Т4	0,470	0,310	0,032	С4-Ф3	0,491	0,608	0,006				
Ф4-Т3	0,348	0,218	0,047	С3-Ф4	0,525	0,621	0,013				
Ф3-Т4	0,379	0,190	0,008	Ф4-Ф3	0,588	0,682	0,023				

Примечание. В таблице приведены только пары отведений, в которых наблюдались достоверные различия в значениях Кког между группами.

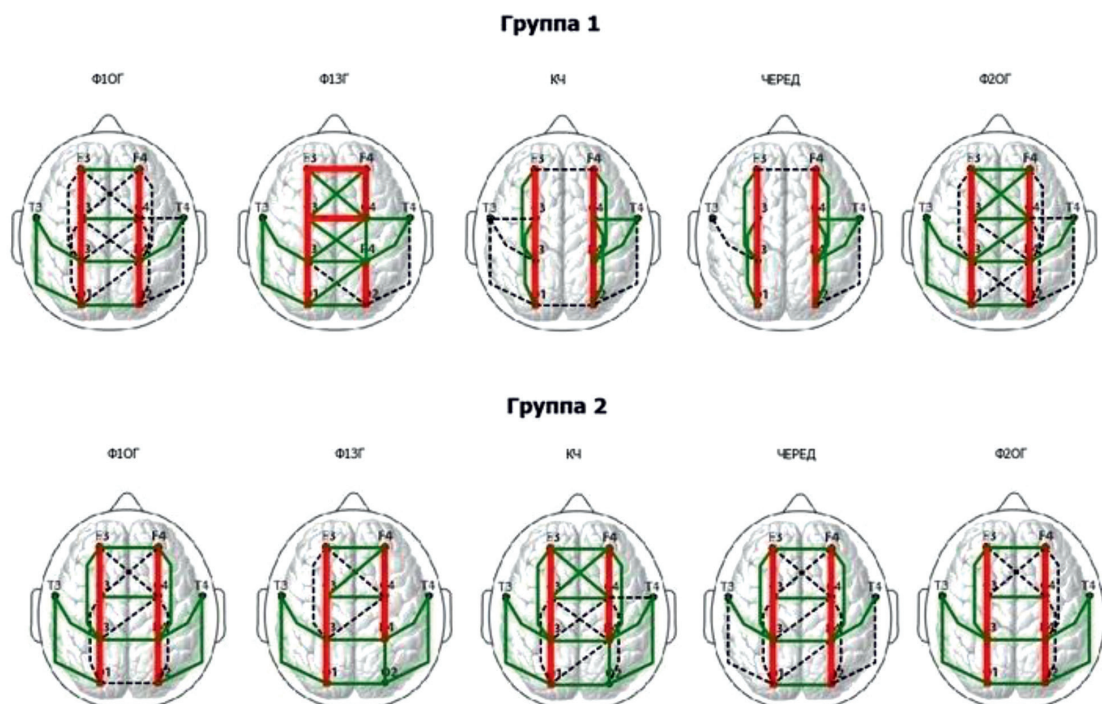


Рис. 1. Топографическое распределение когерентных связей $\alpha 1$ -диапазона ЭЭГ испытуемых 1-й и 2-й групп на этапах обследования. Толстые красные линии – $K_{ког} > 0,8$; тонкие зеленые линии – $0,6 < K_{ког} < 0,8$; пунктирные линии – $0,55 < K_{ког} < 0,6$

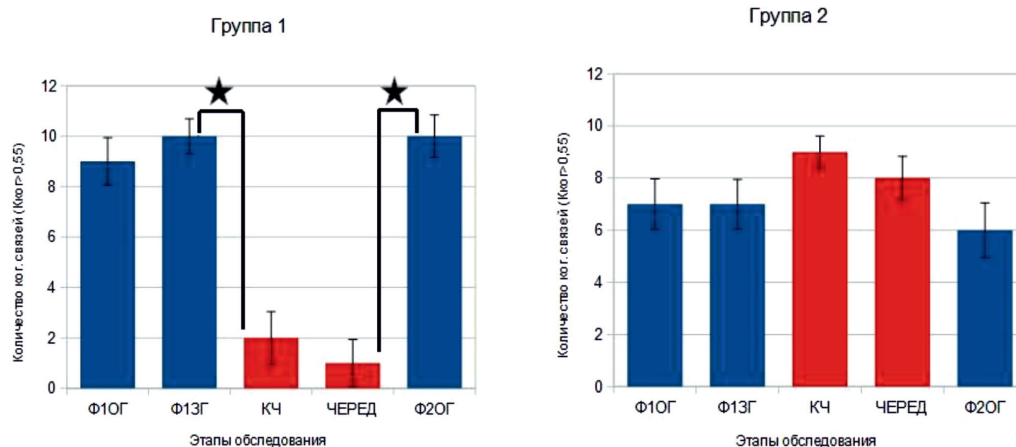


Рис. 2. Количество межполушарных (за исключением связей с височными зонами Т3 и Т4) когерентных связей ($K_{ког} > 0,55$) $\alpha 1$ -диапазона ЭЭГ у испытуемых 1-й и 2-й групп на этапах обследования: синие столбики – этапы фона и спокойного бодрствования, красные – выполнение заданий. Звездочками отмечены достоверные различия между количеством когерентных связей на этапах обследования. Достоверность различий приведена в тексте

В результате проведенного исследования выявлен ряд особенностей спектральных характеристик и паттернов пространственного распределения когерентных связей, характерных для испытуемых с разным уровнем личностной тревожности.

У испытуемых с низкой ЛТ по сравнению с лицами с высокой ЛТ во всех регистрируемых отведениях наблюдалась более высокая мощность биопотенциалов $\alpha 1$ -диапазона в исходном состоянии при закрытых глазах. Эти результаты подтверждают

ранее полученные нами данные о большей спектральной мощности α -ритма у низкотревожных испытуемых [5].

Интересно, что подобные различия отмечались и в ситуации спокойного бодрствования с открытыми глазами после выполнения всех заданий (Ф2ОГ). В этом случае, как и при Ф13Г, у низкотревожных лиц наблюдалась большая мощность α 1-ритма, чем у высокотревожных.

Можно предположить, что у испытуемых 1-й группы ситуация тестирования вызывала адекватное повышение уровня тревожности, а после завершения тестирования она возвращалась в исходное состояние.

Следует отметить, что на этапах Ф13Г и Ф2ОГ наибольшие различия между испытуемыми 1-й и 2-й групп имели место во фронтальных и центральных отведениях. По-видимому, это связано с особой ролью лобных и центральных зон коры в процессах оценки человеком опасности ситуации и планирования дальнейших действий. Так как оценка степени угроз является достаточно субъективной, в ряде исследований регистрируются различия во фронтально-центральных зонах коры, связанные с тревожностью и стрессом [3, 11].

Как уже говорилось выше, десинхронизация α 1-ритма отражает процессы непроизвольного внимания и общий уровень активации мозга [7, 8]. С этой точки зрения большие значения мощности α 1-ритма в фоновом состоянии с закрытыми глазами и после выполнения задания у низкотревожных испытуемых могут быть связаны с меньшей активацией мозговых структур и меньшим базальным уровнем непроизвольного внимания. У высокотревожных лиц системы непроизвольного внимания, связанные с поиском и оценкой возможных угроз, активированы даже в ситуациях, не требующих активной деятельности.

Анализ когерентных взаимоотношений биопотенциалов α 1-диапазона ЭЭГ показал, что в фоновом состоянии с закрытыми глазами большая когерентность межполушарных связей была свойственна группе лиц с низкой ЛТ. Это согласуется с результатами исследования, в котором показано, что переживанию тревоги и печали сопутствует снижение когерентности в α -диапазоне [12]. Результаты настоящего исследования также показали, что во время выполнения заданий межполушарная когерентность, наоборот, оказалась выше у высокотревожных испытуемых. В большинстве пар отведений изменение соотношения Кког у низко- и высокотревожных испытуемых происходило за счет уменьшения коге-

рентности у низкотревожных испытуемых. Можно предположить, что это произошло за счет изменения пространственного паттерна взаимодействия корковых зон. Если в состоянии покоя у низкотревожных испытуемых имела место синхронизация активности обоих полушарий, то при выполнении задания каждое полушарие включалось в осуществление специфических форм анализа информации, что уменьшало межполушарную когерентность у этих лиц. На всех этапах выполнения заданий у низкотревожных испытуемых имело место меньшее количество межполушарных связей, по сравнению с исходным состоянием и с состоянием спокойного бодрствования после обследования.

На основании результатов исследования можно предположить, что большая латерализация активности корковых зон при выполнении заданий, выражающаяся у низкотревожных испытуемых в снижении межполушарной когерентности на частоте α 1-ритма, соотносится с меньшим уровнем тревожности. Связь межполушарных взаимоотношений со стрессом и тревожностью прослеживается в целом ряде работ [13, 14].

В настоящем обследовании показано, что у низкотревожных испытуемых переход от этапа к этапу обследования характеризуется различным паттерном когерентных связей в α 1-диапазоне, что не наблюдалось у высокотревожных индивидов. Наши предыдущие исследования показали, что лабильность паттерна когерентных взаимоотношений способствует большей успешности выполнения задания [15]. В настоящем исследовании у низко- и высокотревожных испытуемых корреляция с успешностью не выявлена, однако изменчивость паттерна когерентных взаимосвязей сочеталась с меньшей тревожностью, что может свидетельствовать о способности таких индивидов более эффективно использовать психические ресурсы организма, адекватно подстраивая активность различных областей коры под требования выполняемой задачи.

Выводы

1. Спектрально-когерентные характеристики α 1-ритма могут рассматриваться в качестве электрофизиологических коррелятов личностной тревожности испытуемых.

2. У низкотревожных испытуемых наблюдалась более высокая мощность α 1-ритма в исходном состоянии при закрытых глазах и в состоянии спокойного бодрствования при открытых глазах после выполнения всех тестовых заданий.

3. Различия в когерентности $\alpha 1$ -диапазона между группами низкотрещовых и высокотрещовых испытуемых были обусловлены в основном межполушарными взаимосвязями. В исходном состоянии когерентность потенциалов $\alpha 1$ -диапазона была выше в ряде отведений ЭЭГ у низкотрещовых лиц, а при выполнении заданий – у высокотрещовых.

4. У низкотрещовых испытуемых в отличие от высокотрещовых наблюдалась лабильность паттерна когерентных взаимосвязей $\alpha 1$ -диапазона в соответствии с этапами деятельности.

Список литературы

1. Большой психологический словарь / ред. Б.Г. Мещерякова, акад. В.П. Зинченко. М.: АСТ, 2009. 816 с.
2. Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., Джос Ю.С. Проблема тревожности как сложного психофизиологического явления // *Экология человека*. 2014. № 6. С. 47–54.
3. Князев Г.Г., Савостьянов А.Н., Левин Е.А., Слободской-Плюснин Я.Ю., Бочаров, А.В. Электроэнцефалографические корреляты тревожности // *Бюллетень Сибирского отделения РАМН*. 2009. Т. 29. № 1. С. 74–80.
4. Джебраилова Т.Д. Спектральные характеристики ЭЭГ у студентов с различной личностной тревожностью в ситуации экзаменационного стресса // *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2003. № 53 (4). С. 495–502.
5. White E.K., Groeneveld K.M., Tittle R.K., Bolhuis N.A., Martin R.E., Royer T.G., Fotuhi M. Combined neurofeedback and heart rate variability training for individuals with symptoms of anxiety and depression: A retrospective study. *NeuroRegulation*. 2017. vol. 4. no. 1. P. 37–55.
6. Escolano C., Navarro-Gil M., Garcia-Campayo J., Congedo M., De Ridder D., Minguez J. A controlled study on the cognitive effect of alpha neurofeedback training in patients with major depressive disorder. *Frontiers in behavioral neuroscience*. 2014. vol. 8. P. 296.
7. Klimesch W., Sauseng P., Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: the inhibition–timing hypothesis. *Brain research reviews*. 2007. vol. 53. no. 1. P. 63–88.
8. Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in cognitive sciences*. 2012. vol. 16. no. 12. P. 606–617.
9. Uusberg A., Uibo H., Kreegipuu K., Allik J. EEG alpha and cortical inhibition in affective attention. *International Journal of Psychophysiology*. 2013. vol. 89. no. 1. P. 26–36.
10. Lobier M., Palva J.M., Palva, S. High-alpha band synchronization across frontal, parietal and visual cortex mediates behavioral and neuronal effects of visuospatial attention. *NeuroImage*. 2018. vol. 165. P. 222–237.
11. Quaedflieg C.W.E.M., Meyer T., Smulders F.T.Y., Smeets T. The functional role of individual-alpha based frontal asymmetry in stress responding. *Biological psychology*. 2015. vol. 104. P. 75–81.
12. Hinrichs H., Machleidt W. Basic emotions reflected in EEG-coherences. *International Journal of Psychophysiology*. 1992. vol. 13. no. 3. P. 225–232.
13. Alonso J.F., Romero S., Ballester M.R., Antonijoan R.M., Mañanas M.A. Stress assessment based on EEG univariate features and functional connectivity measures. *Physiological measurement*. 2015. vol. 36. no. 7. P. 1351–1364.
14. Giannakakis G., Grigoriadis D., Tsiknakis M. Detection of stress/anxiety state from EEG features during video watching. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 37th Annual International Conference of the IEEE*. 2015. P. 6034–6037.
15. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А. Лабильность структуры когерентных взаимосвязей биопотенциалов в диапазонах основных ритмов ЭЭГ и эффективность интеллектуальной деятельности человека // *Академический журнал Западной Сибири*. 2014. Т. 10. № 3(52). С. 58–60.