



ОСОБЕННОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ РИТМОВ ЭЭГ ПОКОЯ У ДЕВУШЕК С ВЫСОКИМ И НИЗКИМ УРОВНЕМ ТРЕВОЖНОСТИ

РАБАДАНОВА А.И.

*Дагестанский государственный университет (ФГБОУ ВО «ДГУ»),
г. Махачкала, Российская Федерация*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9041-6880>, e-mail: phisiodgu@mail.ru

ЧЕРКЕСОВА Д.У.

*Дагестанский государственный университет (ФГБОУ ВО «ДГУ»),
г. Махачкала, Российская Федерация*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0390-5633>, e-mail: cher2005@mail.ru

В статье представлены результаты сравнительного анализа когерентности основных ритмов ЭЭГ (δ , θ , α , β_1 и β_2) в различных зонах коры мозга относительно лобно-полюсных (Fp_1 и Fp_2) отведений у девушек с высоким и низким уровнем тревожности при пассивном бодрствовании с закрытыми глазами. У высокотреховных лиц наблюдается усиление синхронизации ритмов ЭЭГ во всех областях коры мозга с большей выраженностью в левом полушарии. При этом отмечается усиление внутри — и межполушарной когерентности между локальными и дистантными зонами коры левого полушария. В правом полушарии наибольшие значения когерентности при высоком уровне тревожности выявлены между дистантными областями коры мозга. Характерной особенностью ЭЭГ высокотреховных лиц является перераспределение синхронизации ритмов из фронтальных областей в каудальные зоны коры. Обсуждаются возможные причины изменения процесса синхронизации ритмов ЭЭГ при тревожности.

Ключевые слова: тревожность, когерентность, электроэнцефалограмма, кора больших полушарий, ритмы ЭЭГ.

Благодарности. Авторы выражают благодарность доктору физико-математических наук А.А. Табидзе за помощь в обработке данных тест-опросника Р. Кеттела, а также директору психологического центра ДГУ «ПСИ — ФАКТОР» А.Н. Джабраилову.

Для цитаты: Рабаданова А.И., Черкесова Д.У. Особенности синхронизации ритмов ЭЭГ покоя у девушек с высоким и низким уровнем тревожности // Экспериментальная психология. 2024. Том 17. № 3. С. 185—202. DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2024170313>



PECULIARITIES OF SYNCHRONISATION OF RESTING EEG RHYTHMS IN GIRLS WITH HIGH AND LOW ANXIETY LEVELS

AMINA I. RABADANOVA

Dagestan State University, Makhachkala, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9041-6880>, e-mail: phisiodgu@mail.ru

DILARA U. CHERKESOVA

Dagestan State University, Makhachkala, Russia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0390-5633>, e-mail: cher2005@mail.ru

The article presents the results of a comparative analysis of the coherence of the main EEG rhythms (δ , θ , α , β_1 and β_2) in different areas of the cerebral cortex relative to frontal pole leads (Fp_1 and Fp_2) leads in girls with high and low levels of anxiety during passive wake state. In highly anxious individuals, there is an increase in the synchronization of EEG rhythms in all areas of the cerebral cortex, with a greater severity in the left hemisphere. At the same time, there is an increase in intra- and interhemispheric coherence between the local and distal zones of the cortex of the left hemisphere. In the right hemisphere, the highest values of coherence at a high level of anxiety were found between distant areas of the cerebral cortex. A characteristic feature of the EEG of highly anxious individuals is the redistribution of rhythm synchronization from the frontal regions to the caudal cortical zones. Possible reasons for the change in the process of EEG rhythm synchronization during anxiety are discussed.

Keywords: anxiety, coherence, electroencephalogram, cerebral cortex, EEG rhythms.

Acknowledgements. The authors express their gratitude to Dr. Tabidze A.A. for his help in processing the data of the test questionnaire by R. Kettel, as well as to the director of the psychological center of the PSU “PSI – FACTOR” A.N. Dzhabrailov.

For citation: Rabadanova A.I., Cherkesova D.U. Peculiarities of Synchronisation of Resting EEG Rhythms in Girls with High and Low Anxiety Levels. *Экспериментальная психология = Experimental Psychology (Russia)*, 2024. Vol. 17, no. 3, pp. 185–202. DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2024170313> (In Russ.).

Введение

Тревожность человека представляет комплексный феномен, который характеризуется специфическими когнитивными, аффективными и соматическими реакциями на уровне целостной личности [2; 9; 11; 24; 35; 40]. Тревожность включается в многочисленные механизмы адаптационной регуляции в качестве компонента мотивационно-эмоциональной сферы, мобилизации защитных сил организма, прежде всего в условиях острой стрессовой ситуации, связанной с потенциальной угрозой жизнедеятельности [41; 52; 54; 61].

В психологии популярно разведение тревожности на две составляющие: *личностную тревожность* и *ситуативную* [14; 32; 36; 43].

Под личностной тревожностью (ЛТ) понимают относительно постоянную склонность субъекта воспринимать угрозу в самом широком круге ситуаций. Что касается ситуативной тревожности (СТ), то это беспокойство, вызванное реально или потенциально угрожающими ситуациями.



К основным компонентам, важным для определения тревожности, относят: напряженность с отрицательным эмоциональным знаком; ощущение неопределенной угрозы и недостаточности своих сил для борьбы с ней; тенденцию к усилению в достаточно большом круге ситуаций; тенденцию возбуждать страх перед достаточно большим количеством объектов и т. д. [31].

У здорового человека чувство тревоги является временным ощущением. Если это чувство становится слишком сильным и неконтролируемым и лишает человека возможности вести нормальную жизнь, заниматься привычной деятельностью, то можно говорить о тревожном расстройстве. Особо актуальна данная проблема в социально-политическом контексте нынешнего кризиса, который возник в ситуации пандемии и СВО. В этих условиях состояние тревожности может проявляться у людей любого возраста, однако, согласно статистике, чаще всего от тревожного расстройства страдают молодые женщины [8; 20; 47; 57].

В связи с этим интерес к проблеме тревожности не ослабевает и в настоящее время. Стремительное развитие современных методов нейрофизиологических исследований [7; 18], служащих дополнением к традиционным психодиагностическим методам, позволяет более детально изучить данную проблему.

В этой связи растет число публикаций, посвященных изучению мозговых коррелятов тревожности с применением метода регистрации электрической активности мозга (ЭЭГ) [6; 7; 16–18; 22; 33; 42; 44]. Показано, что у лиц с тревожным компонентом происходит снижение α -ритма, наблюдается гиперактивность и усиление θ - и β -ритмов в правой полушарии с доминированием β_1 -ритма [3; 23; 34; 37; 45; 58; 62]. В некоторых исследованиях отмечают более высокий уровень δ - и β -активности и низкий уровень α -активности у высокотревожных лиц [29; 46].

Большой интерес отмечается к изучению когерентности (Cог) частотных составляющих ЭЭГ. В работах Т.С. Мельникова и др. [24; 25] показано снижение когерентности во фронтальном отделе мозга и повышение межполушарной когерентности в затылочных отделах при тревожности.

Вместе с тем, несмотря на рост публикаций, посвященных изучению нейрофизиологических механизмов возникновения тревожности у человека, сведения эти носят противоречивый характер и не позволяют составить целостную картину электрофизиологических паттернов этого феномена у здоровых людей.

С одной стороны, это объясняется тем, что проблема тревоги и тревожности, дифференциация этих понятий в психологии не решена окончательно, а с другой стороны, проявление тревожности как сопутствующего компонента невротических расстройств не позволяет провести линию раздела между состоянием тревожности здорового человека и при невротической патологии.

В данной работе предпринята попытка изучить показатели внутри- и межполушарной когерентности у девушек с высокой личностной тревожностью в состоянии пассивного бодрствования.

Методика

В исследовании приняли участие 35 праворуких девушек в возрасте 18–20 лет, без признаков соматической и психической патологии. Для диагностики тревожности использовали методики Р. Кеттела в модификации А.А. Табидзе [38] и Ч.Д. Спилбергера–Ю.Л. Ханина [36]. Исследования проводились в период каникул после окончания сессии, чтобы исключить влияние экзаменационного стресса.



Модификация методики Р. Кеттела заключается в том, что тревожность, особенно ее высокий уровень, А.А. Табидзе интерпретирует с позиции клинической психологии как фактор отрицательный для здоровья человека и располагает, в отличие от оригинальной методики, по шкале отрицательных факторов (шкала при этом пятибалльная) [38].

Регистрацию ЭЭГ девушек контрольной (низкотревожные — НТ, $n=20$) и экспериментальной (высокотревожные — ВТ, $n=15$) групп осуществляли на аппаратно-программном комплексе «Энцефалан—131—03» (Россия). Электроды располагали в соответствии с международной системой 10—20 в 16 симметричных отведениях правого и левого полушарий с объединенным ушным электродом (монополярное отведение).

Референтные электроды фиксировали на мочках ушей испытуемых. Заземляющий (нейтральный) электрод для выравнивания потенциалов испытуемого и усилителя устанавливали на лбу. ЭЭГ регистрировали в положении сидя, с закрытыми глазами, в состоянии пассивного бодрствования в течение 5 минут. Запись активности мозга осуществляли в отведениях: $Fp_1, Fp_2, F_3, F_4, F_7, F_8, C_3, C_4, P_3, P_4, T_3, T_4, T_5, T_6, O_1, O_2$.

Для анализа были выделены безартефактные фрагменты ЭЭГ в виде эпох (8—10 эпох) продолжительностью 40—50 с. Для контроля качества регистрации ЭЭГ, с целью исключения влияния артефактов за счет подэлектродных явлений, использовали непрерывное измерение и анализ подэлектродных сопротивлений и потенциалов. Артефакты оценивались визуальным путем.

Оценивали внутриполушарные когерентности между лобно-полюсными отведениями (Fp_1 и Fp_2) и всеми соответствующими отведениями левого ($Fp_1-F_3, Fp_1-F_7, Fp_1-C_3, Fp_1-P_3, Fp_1-T_3, Fp_1-T_5, Fp_1-O_1$) и правого ($Fp_2-F_4, Fp_2-F_8, Fp_2-C_4, Fp_2-P_4, Fp_2-T_4, Fp_2-T_6, Fp_2-O_2$); полушарий; межполушарные когерентности между симметричными отведениями коры ($Fp_1-Fp_2, F_3-F_4, F_7-F_8, C_3-C_4, P_3-P_4, T_3-T_4, T_5-T_6, O_1-O_2$), а также межполушарные когерентности между точками Fp_1 и Fp_2 и всеми отведениями контралатерального полушария ($Fp_2-Fp_1, Fp_2-F_3, Fp_2-F_7, Fp_2-T_3, Fp_2-T_5, Fp_2-C_3, Fp_2-P_3, Fp_2-O_1; Fp_1-F_4, Fp_1-F_8, Fp_1-T_4, Fp_1-T_6, Fp_1-C_4, Fp_1-P_4, Fp_1-O_2$).

Коэффициент когерентности (КК) вычисляли как среднее арифметическое значений когерентности спектральных компонентов, как по всем частотным диапазонам, так и по отдельно взятым диапазонам: $\delta, \theta, \alpha, \beta_1, \beta_2$ -ритмов. Когерентность измеряли в значениях от 0 до +1 [21].

Статистическую обработку данных электрической активности мозга проводили при помощи программ Microsoft Excel-2010 и Statgrafics-19. Для выявления взаимосвязи изменений параметров ЭЭГ с состоянием тревожности вычисляли коэффициенты корреляции по Пирсону. Достоверность различий оценивалась с помощью критерия Манна—Уитни. Для установления значимых факторов проводили многофакторный дисперсионный анализ с повторениями (Repeated-measures ANOVA).

Межиндивидуальным фактором при этом была принадлежность к группе: низкотревожные, высокотревожные (2 уровня фактора), а внутрииндивидуальными — диапазон волн (5 уровней: $\delta, \theta, \alpha, \beta_1, \beta_2$), топография (8 уровней — лобнополюсная область (Fp_1, Fp_2), сренелобная (F_3, F_4), заднелобная (F_7, F_8), передневисочная (T_3, T_4), задневисочная (T_5, T_6), центральная (C_3, C_4), височная (P_3, P_4), затылочная (O_1, O_2), полушария (2 уровня — правое и левое полушарие).

Результаты исследования

По результатам психодиагностики тревожности с использованием тест-опросника Р. Кеттелла—А.А. Табидзе [38], нами были выделены группы девушек с низким (2,1+1,2 —



контрольная группа) и высоким — (4,2+0,6 — экспериментальная группа) уровнем тревожности. Проведение повторной диагностики тревожности с применением опросника Ч.Д. Спилбергера—Ю.Л. Ханина [36] в 95% случаях подтверждает надежность дифференциации групп по уровню тревожности. При этом показатель личностной тревожности в контрольной группе составил — 48,3+2,7; в экспериментальной — 65,5+3,4 ($P<0,05$). Достоверность различий оценивали с использованием критерия Манна—Уитни. Оценка достоверности различий ситуационной тревожности в контрольной (42,5±1,3) и экспериментальной (52,9±1,9; $P<0,05$) группах свидетельствует о том, что повышение оценки тревожности как черты личности сопряжено с увеличением тревожности в тех или иных ситуациях [39].

В группах с низкой и высокой тревожностью проводили сравнительный анализ когерентности по всем отведениям левого и правого полушарий относительно соответствующих лобно-полюсных отведений Fp_1 и Fp_2 , между лобно-полюсными точками (Fp_1 , Fp_2) и отведениями контралатерального полушария, а также между симметричными точками отведений левого и правого полушарий.

Внутриполушарные показатели когерентности отражены на рис. 1—3.

Результаты исследований показали значительные различия параметров когерентности между левым и правым полушариями в сравниваемых группах, что указывает на изменение функциональных связей зон мозга.

Так, в правом полушарии контрольной группы средний уровень когерентности всех частотных диапазонов относительно Fp_2 выше (0,68+0,05; $p<0,001$), чем в левом полушарии (0,58+0,08; $p<0,005$). При этом значения коэффициента когерентности 0,8 и выше выявлены по всем частотным диапазонам для фронтальных отведений (Fp_2-F_4 , Fp_2-F_8). Для отведений затылочной области коры степень синхронизации ритмической активности ЭЭГ ниже, что отражается на параметрах КК.

Средние значения когерентности левого полушария, как было отмечено, ниже средних значений правого полушария ($F=5,72$, $p<0,0014$). Вместе с тем, высокий показатель КК ($\geq 0,8$; $F=8,2$; $p<0,0012$) для всех частотных диапазонов обнаружен для отведений Fp_1-F_7 .

У высокотренированных лиц правополушарные показатели когерентности имеют свои особенности. Здесь практически по всем отведениям когерентные связи для всех частотных диапазонов относительно Fp_2 -отведения монотонно сглажены, за исключением δ -ритма (КК $>0,8$) в паре отведений Fp_2-F_8 ($F=15,2$; $p=0,001$) и θ -ритма (КК $\geq 0,8$) в парах Fp_2-C_4 ($F=13,4$, $p=0,003$) и Fp_2-F_8 ($F=35,1$; $p<0,0002$). Это укладывается в представление о том, что дистантная кооперация мозговых структур отражается в синхронизации низкочастотных δ - и θ -ритмов, в то время как локальные взаимодействия между группами нейронов отражаются в синхронизации высокочастотных ритмов [13]. Кроме того, для высокотренированных испытуемых характерной особенностью является усиление синхронизации β_1 - и β_2 -ритмов ЭЭГ для локальных и дистантных областей левого полушария.

В левом полушарии у высокотренированных лиц степень синхронизации более выражена (КК $>0,8$) между отведениями Fp_1-F_3 ($p<0,002$) и Fp_1-F_7 ($p<0,001$) во всех частотных диапазонах. Степень синхронизации активности β_2 -ритма выше по сравнению с β_1 - и α -ритмами ($p<0,001$), что не наблюдается в правом полушарии. Показатели же когерентности δ - и θ -ритмов выше между Fp_1 и T_3 ($p<0,001$), T_5 ($p<0,002$), C_3 ($p<0,001$), P_3 ($p<0,01$), O_1 ($p<0,001$) отведениями относительно других частотных составляющих ЭЭГ левого полушария.

Таким образом, сравнение характера когерентных связей в группах низко- и высокотренированных лиц показало, что в состоянии пассивного бодрствования у лиц с высоким



уровнем тревожности средний уровень когерентности во всех частотных диапазонах, кроме α -ритма, выше в левом полушарии (рис. 1).

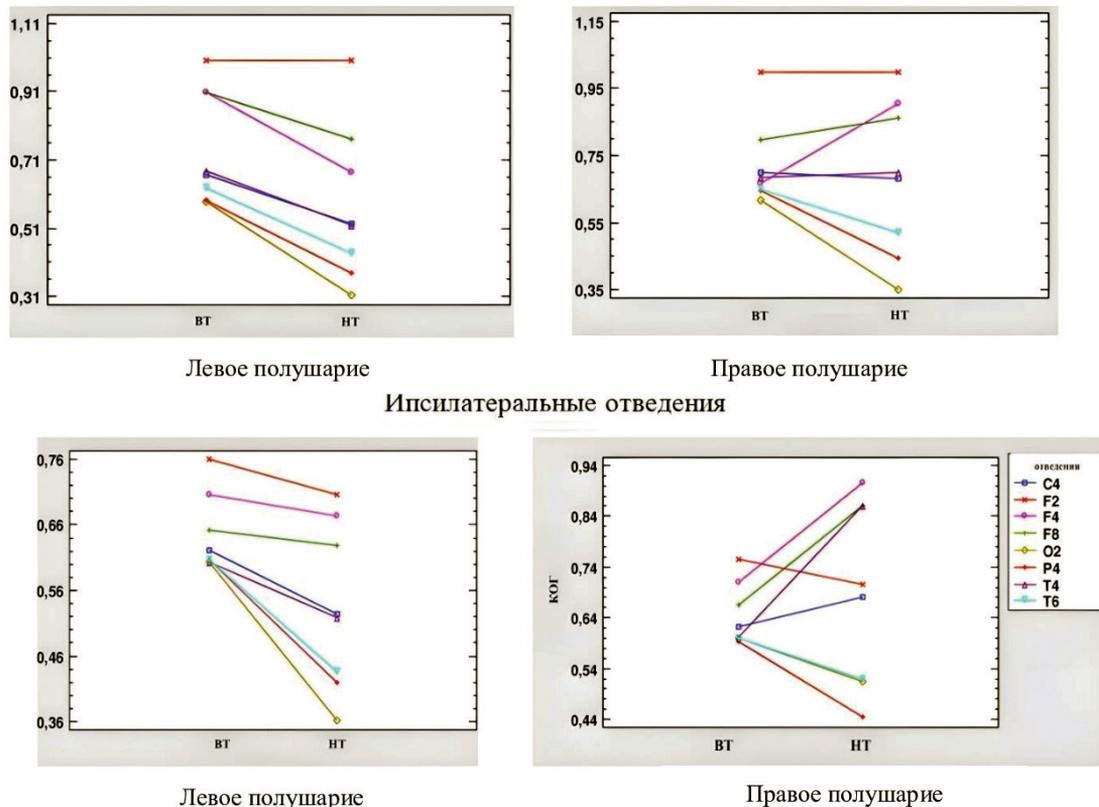


Рис. 1. Графическое отображение многофакторного дисперсионного анализа для значений когерентности: КОГ – значения когерентности; BT – высокотреховные; NT – низкотреховные

Наиболее высокие значения синхронизации (повышение КК) относительно контрольных значений выявлены для δ - ритма в парах Fp_1-P_3 ($F=23, p=0,005$); Fp_1-O_1 ($F=35, p=0,001$); θ -ритма – в парах Fp_1-F_3 ; Fp_1-T_3 ; Fp_1-O_1 (на 51,0; 38,4 и 58,2% соответственно; $F=15, p=0,001$); β_1 -ритма – в парах Fp_1-T_3 (на 51,0%; $F=10, p=0,002$), Fp_1-T_5 (на 64,4%; $F=32, p=0,005$), Fp_1-C_3 (на 38,3%; $F=52, p=0,001$), Fp_1-P_3 (на 56,2%; $F=11, p=0,001$), Fp_1-O_1 (на 93,2%; $F=18, p=0,001$) и по всем отведениям для β_2 -ритма (рис. 2).

У высокотреховных испытуемых выявлены также отличия правополушарного профиля когерентности, по сравнению с контрольной группой (рис. 2). Происходит снижение уровня когерентности в паре Fp_2-F_4 в среднем на 29,2% ($F=13, p=0,005$) по всем частотным диапазонам ЭЭГ; отмечаются незначительные отклонения параметров когерентности в отведениях Fp_2-F_8 , Fp_2-T_4 и Fp_2-C_4 . Исключением является α -ритм, когерентность колебаний которого существенно выше в отведениях Fp_2-T_6 , Fp_2-P_4 , Fp_2-O_2 (на 91,0 ($F=59, p=0,0001$), 91,4 и 60,2% ($F=33, p=0,001$) соответственно), по сравнению с группой контроля.

Для изучения межполушарной интеграции мозговых процессов в исследуемых группах изучали когерентности между Fp_1 и всеми отведениями контрлатерального правого полушария, а также между Fp_2 и всеми отведениями контрлатерального левого полушария (рис. 3).

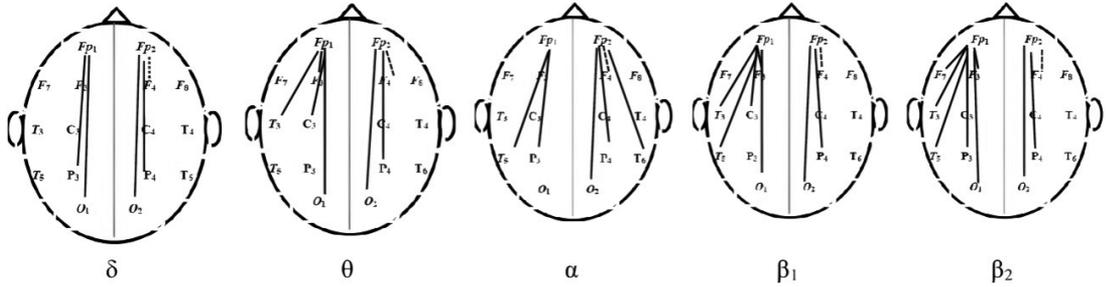


Рис. 2. Ипсилатеральная топография функциональных связей у высокотрещовных лиц относительно отведения Fp_1 и Fp_2 :

Здесь и далее: сплошной линией обозначено увеличение когерентных связей относительно контроля, пунктиром — уменьшение.

Отведения левого полушария: Fp_1 — лобное полюсное отведение; F_3 — среднелобное отведение; F_7 — заднелобное отведение; T_3 — передневисочное отведение; T_5 — задневисочное отведение; C_3 — центральное отведение; P_3 — теменное отведение; O_1 — затылочное отведение.

Отведения правого полушария: Fp_2 — лобное полюсное отведение; F_4 — среднелобное отведение; F_8 — заднелобное отведение; T_4 — передневисочное отведение; T_6 — задневисочное отведение; C_4 — центральное отведение; P_4 — теменное отведение; O_2 — затылочное отведение.

1 — δ -ритм; 2 — θ -ритм; 3 — α -ритм; 4 — β_1 -ритм; 5 — β_2 -ритм

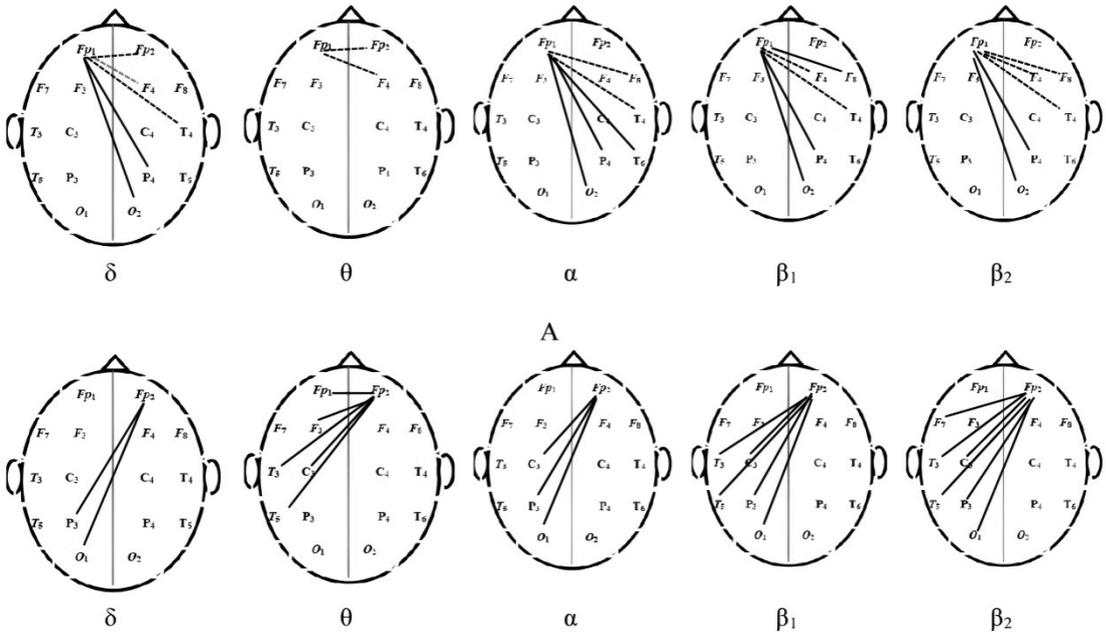


Рис. 3. Контралатеральная топография функциональных связей у высокотрещовных лиц относительно отведения Fp_1 (А) и Fp_2 (Б)

Результаты показали, что в экспериментальной группе между Fp_1 полюсами контралатерально расположенными отведениями правого полушария отмечается низкий уровень синхронизации колебаний волн с тенденцией к возрастанию в дистантном затылочном направлении, за исключением θ -ритма.



Аналогичная процедура регистрации межполушарной когерентности относительно точки Fp_2 и отведений левого полушария контрольной группы показало высокую степень синхронизации во фронтальных зонах коры (Fp_2-F_1 , Fp_2-F_3 , Fp_2-F_7) для δ - и α -ритмов (КК=0,80-0,89 и КК=0,72-0,80 соответственно).

Что касается профиля когерентных связей левого полушария у высокотревожных лиц обнаружена высокая когерентность δ -волн между лобным и теменно-затылочными отведениями и θ -ритма между лобными и височными зонами по сравнению с контрольной группой.

Относительно высокий уровень синхронизации между лобными и всеми отведениями левого полушария характерен для β_1 - и β_2 -ритмов, как это имело место и в правом полушарии.

Изучение межполушарной когерентности между симметричными отведениями левого и правого полушарий показало, что в контрольной группе наиболее высокие значения когерентности имеют место для α -ритма между симметричными фронтальными отведениями Fp_1-Fp_2 (КК=0,80) и F_3-F_4 (КК=0,82). По мере удаления от фронтальных областей коры, параметры коэффициента когерентности уменьшаются: от 0,6 между симметричными зонами центральных отведений (C_3-C_4) до 0,3 в области височных отведений (T_3-T_4 и T_5-T_6). Наименьшая синхронность ритмов ЭЭГ в контрольной группе отмечена для β -ритма, с пиком в передних фронтальных областях коры и снижением степени синхронизации в направлении затылочных областей.

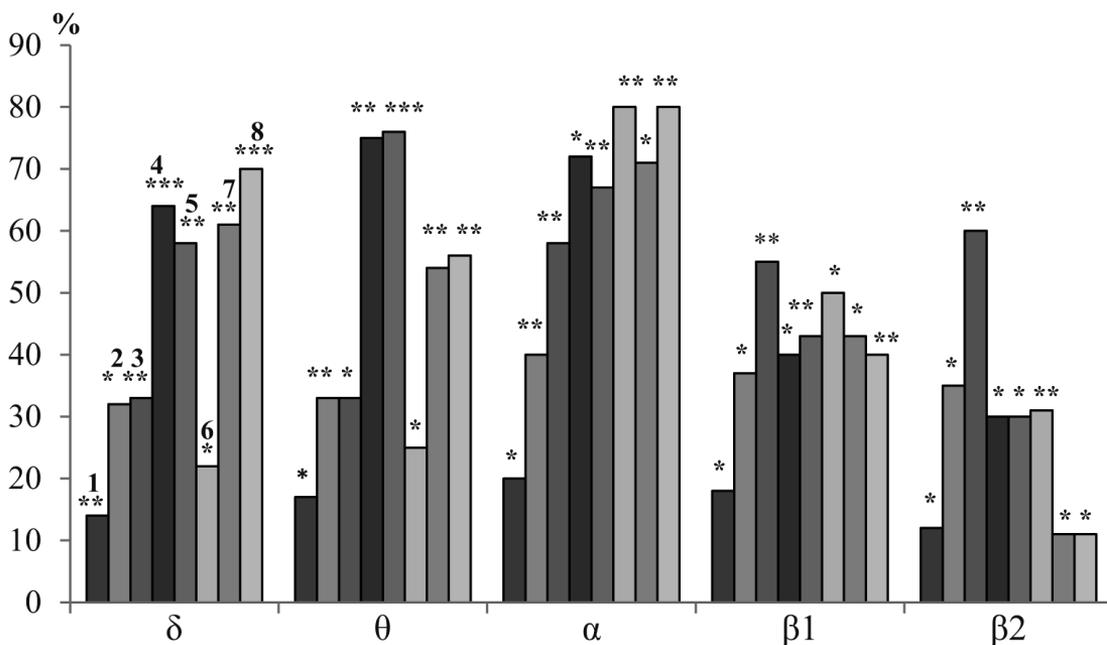


Рис. 4. Изменение межполушарной когерентности ритмов ЭЭГ у высокотревожных лиц (относительно контроля) по симметричным отведениям:

1 – Fp_1-Fp_2 ; 2 – F_3-F_4 ; 3 – F_7-F_8 ; 4 – T_3-T_4 ; 5 – T_5-T_6 ; 6 – C_3-C_4 ; 7 – P_3-P_4 ; 8 – O_1-O_2 .

Различия достоверны при: «*» – $p < 0,05$, «**» – $p < 0,01$; «***» – $p < 0,001$

Анализ когерентности по симметричным точкам корковых зон у высокотревожных лиц, по сравнению с контрольной группой, показал повышение когерентности во всех зонах коры с разной степенью выраженности во всех частотных диапазонах (рис. 4).



Наибольшие показатели Ког в этой группе наблюдаются в α -диапазоне, особенно между симметричными зонами коры T_3-T_4 , T_5-T_6 , C_3-C_4 , P_3-P_4 и O_1-O_2 . Для данной группы испытуемых характерно также усиление межполушарной интеграции в β -диапазоне, преимущественно между симметричными парами F_3-F_4 и F_7-F_8 . Более высокие значения когерентности всех волн, кроме β -диапазона, отмечаются также для симметричных точек височных (T_3-T_4 , T_5-T_6) и каудальных (P_3-P_4 , O_1-O_2) отделов коры.

Многофакторный дисперсионный анализ с тремя межгрупповыми факторами (А – отведения, В – ритмы и С – принадлежность к группе высоко- и низкотрещожных лиц) показал достоверный эффект для всех групп сравнения, за исключением показателей когерентности у низкотрещожных лиц в правом полушарии (таблица).

Таблица

Многофакторный дисперсионный анализ для значений когерентности

Сравниваемые критерии	Среднеквадрат. отклонение	F	P	Среднеквадрат. отклонение	F	P
	Левое полушарие			Правое полушарие		
	Ипсилатеральные отведения					
Группы	0,851767	2081,71	0,0000	10,4684	0,29	0,5948
Отведения	0,564514	1379,67	0,0003	10,3937	0,28	0,9588
Ритмы	0,0557403	136,23	0,0002	8,88536	0,24	0,9136
Группа/отведение	0,0257456	62,92	0,002	7,94484	0,22	0,9806
Группа/ритмы	0,0266222	65,06	0,0001	9,29034	0,25	0,9069
Отведения/ритмы	0,00822638	20,11	0,0001	9,16678	0,25	0,9999
Группы/отведения/ритмы	0,00354969	8,68	0,0001	9,16412	0,25	0,9999
Контрлатеральные отведения						
Группы	0,372132	820,50	0,0000	0,0533408	116,17	0,0000
Отведения	0,120092	264,79	0,0000	0,178699	389,18	0,0000
Ритмы	0,103252	227,66	0,0000	0,0670988	146,13	0,0000
Группа/отведение	0,0239086	52,72	0,0001	0,0910651	198,33	0,0000
Группа/ритмы	0,0147887	32,61	0,0001	0,0103137	22,46	0,0001
Отведения/ритмы	0,00887967	19,58	0,0001	0,00581339	12,66	0,0001
Группы/отведения/ритмы	0,00381476	8,41	0,0001	0,00383625	8,35	0,0002

Обсуждение результатов исследования

Известно, что регистрация электрической активности мозга, с последующим анализом его паттернов, является объективным показателем различных аспектов его функционального состояния [1; 4; 30; 51]. Метод ЭЭГ позволяет определять мощности потенциалов различных ритмических диапазонов ЭЭГ, характеризующих локальную активность нейронных ансамблей в той или иной области коры, а также когерентность, которая служит показателем степени связанности и согласованности работы нейронных ансамблей различных отделов коры головного мозга [21].

Результаты наших исследований свидетельствуют о различиях пространственных взаимодействий между близлежащими и отдаленными зонами коры у низкотрещожных и высокотрещожных лиц в пределах одного полушария. В контрольной группе отмечается со-



блюдение градиента синхронизации, т. е. убывания степени взаимодействия по направлению к затылочным зонам коры. Такая закономерность, свидетельствующая о локализации в передних зонах коры пика когерентности и ее уменьшение по направлению к каудальным отделам, обнаружена многими исследователями [24; 25; 28]. Это соответствует современным представлениям об интегративной функции лобных долей, которые находятся в сильной взаимосвязи с другими отделами мозга через длинные кортико-кортикальные ассоциативные волокна [12]. В экспериментальной же группе синхронизация всех ритмов ЭЭГ, а, следовательно, степень связанности и согласованности работы нейронных ансамблей различных отделов коры головного мозга более выражена между дистантными лобными и затылочными областями коры.

Анализ межполушарных взаимодействий в контрольной группе свидетельствует о более высокой правополушарной когерентности. Это подтверждает обнаруженный ранее в работе R.W. Thatcher, et al. [59] факт, что когерентность корковых зон правого полушария выше, чем для левого [24]. Объясняется это анатомическими особенностями правого полушария, в котором отмечается более высокие отношения белого вещества (длинные связи) к серому веществу (короткие связи) [25; 39], что можно рассматривать как показатель более низкого уровня кортикальной дифференциации.

Полученные нами данные свидетельствуют об усилении у высокотревожных лиц внутри- и межполушарной синхронизации всех частотных диапазонов ЭЭГ. При этом, как по пространственным, так и временным характеристикам, значения когерентности выше в левом полушарии. Это выражается в усилении локальных и дистантных взаимодействий всех волн ЭЭГ в пределах левого полушария. Особо обращает на себя внимание увеличение дистантной высокочастотной синхронизации в β -диапазоне. Следовательно, при тревожном состоянии ответ на раздражение определяется, с одной стороны, вовлечением в реакцию локальных нейронных сетей, а с другой — теми ритмическими составляющими, которые активируют эти нейронные сети. Кроме того, в левом полушарии у высокотревожных лиц обнаружена высокая когерентность δ -волн между лобным и теменно-затылочными отведениями и θ -ритма между лобными и височными зонами по сравнению с контрольной группой. Высокая когерентность θ -ритма в срединных фронтальных областях у лиц с высоким уровнем тревожности обнаружена в работах Xing, et al. [63] и Al-Ezzi, et al. [49]. В то же время в других исследованиях [6; 53] у высокотревожных лиц показано снижение межполушарных функциональных взаимодействий в височных отделах коры головного мозга при повышении относительной мощности θ -активности, что противоречит нашим данным.

Усиление внутримушарной интеграции в правом полушарии имеет преимущественно дистантный характер, что выражается в повышении значений КК между лобными и каудальными зонами коры. С учетом имеющихся представлений о преимущественной связи ствола мозга с левой гемисферой, а диэнцефальных структур — с правой [10; 26] становится очевидным, что тревожность может быть обусловлена активацией неспецифических стволовых и диэнцефальных структур мозга. При этом ретикулярная формация ствола мозга оказывает неспецифическое диффузное влияние на левое полушарие, тогда как влияние таламических структур более локально направлено на каудальные отделы правого полушария. Об этом может также свидетельствовать отмеченное в наших исследованиях снижение Ког всех частотных диапазонов во фронтальных зонах коры правого полушария.

Кроме того, у высокотревожных лиц отмечается усиление интеграции большинства областей левого полушария с фронтальной зоной (F_p) контрлатерального полушария. При этом



для теменно-затылочных областей интеграция усиливается в α - и δ -диапазонах, для фронтально-височных — в θ -диапазоне. Согласованность колебаний практически всех зон левого полушария с фокусом Fp_2 усилена в высокочастотном (β) диапазоне. В отношении правого полушария у высокотревожных лиц такого разнообразия не отмечается. В данном случае увеличиваются длинные связи между передними и задними отделами мозга (Fp_1-P_4 , Fp_1-O_2) практически во всех частотных диапазонах. Указанные различия между полушариями подтверждают данные о большей дифференцировке левого полушария, по сравнению с правым.

Анализ когерентности между симметричными зонами правого и левого полушарий выявил нарушение лобно-затылочного градиента, выражающееся в меньших значениях КК всех диапазонов волн во фронтальных отделах мозга и повышение — в каудальных. Подобная гиперинтеграция каудальных корковых зон может быть обусловлена общебиологическими механизмами перестройки кортикальной нейродинамики в виде сдвига пика когерентности из фронтальных в каудальные отделы мозга [12].

Полученные нами данные, свидетельствующие об увеличении когерентности в α -диапазоне, особенно между симметричными зонами каудальных зон коры, согласуются с результатами исследований о наличии положительной корреляции между синхронностью α -ритма с показателями ситуативной и личностной тревожности [16; 27; 53]. Данные литературы относительно синхронизации α -ритма противоречивы [50; 60]. Генерализованная синхронизация α -ритма в покое может означать, что миллионы корковых нейронов синхронно генерируют медленные дендритные потенциалы с одной и той же фазой и в сравнительно узком частотном диапазоне. Этот базовый феномен ЭЭГ указывает на отсутствие обработки информации.

С учетом того, что β -ритм имеет чисто корковое происхождение, высокий уровень когерентности в данном диапазоне частот во фронтальных зонах коры, вероятно, обусловлен избыточным накоплением информации (на неосознаваемом уровне) — и требованием определенного времени для перевода ее на осознаваемый уровень для выработки соответствующих программ действия [17].

Кроме того, характерной особенностью ЭЭГ высокотревожных лиц является повышение синхронизации симметричных теменных зон, особенно для θ -волн, что может быть связано с усилением влияния лимбических структур, активирующихся при высоком уровне тревожности [48].

Таким образом, высокий уровень тревожности обусловлен активацией стволовых и диэнцефальных структур головного мозга, приводящей к перестройке пространственно-временных отношений электрической активности мозга.

Выводы

1. Характерной особенностью ЭЭГ высокотревожных лиц является усиление по сравнению с низкотревожными внутри- и межполушарной когерентности всех частотных диапазонов практически по всем отведениям. При этом левополушарная синхронизация у высокотревожных имеет более высокую выраженность, по сравнению с правополушарной.

2. В левом полушарии при высокой тревожности наблюдается повышение синхронизации как между локальными, так и дистантными областями коры, что может быть следствием активирующих влияний неспецифических стволовых структур мозга. В правом полушарии, находящемся под влиянием диэнцефальных структур мозга синхронизация сильнее выражена для дистантных зон коры.



3. Межполушарные когерентности между симметричными отведениями коры у высокотревожных лиц характеризуются гиперинтеграцией ритмов ЭЭГ каудальных корковых зон со значительным усилением синхронизации α -ритма в затылочных и θ -ритма в височных областях коры мозга.

Литература

1. Александров М.Б., Иванов Л.Б., Лытаев С.А. и др. Электроэнцефалография / Под ред. М.В. Александрова. СПб: Стратегия будущего, 2019. 209 с.
2. Алфимова М.В., Лапин И.А., Аксенова Е.В., Мельникова Т.С. Влияние тревоги на когнитивные процессы при депрессивном синдроме // Социальная и клиническая психиатрия. 2017. Том 27. № 1. С. 5–12.
3. Вознесенская Т.Г., Синячкин М.С. Сравнительный психофизиологический анализ тревожных расстройств перманентного и пароксизмального характера // Ж. неврол. и психиатрии. 1997. Том 97. № 11. С. 8–11.
4. Газенкамф К.А., Дмитренко Д.В., Карнаухов В.Е., Фирсова Д.А. Корреляция мощности основных ритмов электроэнцефалограммы и коэффициента когерентности с уровнем тревоги и депрессии в юношеском возрасте // Доктор.Ру. 2019. № 6(161). С. 53–57.
5. Грибанов А.В., Кожевникова И.С., Джос Ю.С., Нехорошкова А.Н. Спонтанная и вызванная электрическая активность головного мозга при высоком уровне тревожности // Экология человека. 2013. № 1. С. 39–47.
6. Грибанов А.В., Панков М.Н., Депутат И.С. и др. Нейрофизиологические подходы к оценке тревожности у детей // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 6. С. 106–110.
7. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А., Бирюкова Е.В., Венерина Я.А. Динамика спектральных характеристик ЭЭГ у лиц с разной личностной тревожностью при когнитивной деятельности // Физиология человека. 2021. Том 47. № 1. С. 20–30.
8. Джос Ю.С., Дерябина И.Н., Емельянова Т.В., Бирюков И.С. Особенности биоэлектрической активности головного мозга у женщин пожилого возраста с высоким уровнем личностной тревожности // Журнал медико-биологических исследований. 2014. № 4. С. 21–30.
9. Долготовов Т.В. Тревожность — фактор формирования мотивации достижения успеха, избегания неудачи. М.: Лаборатория книги, 2010. 126 с.
10. Екушева Е.В., Дамулин И.В. К вопросу о межполушарной асимметрии в условиях нормы и патологии // Журнал неврологии и психиатрии. 2014. №3. С. 92–97.
11. Ибагаджиева Л.А. Тревожность как психологическое явление: интерпретация термина, особенности проявления // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 11(113). Часть 4. С. 45–49.
12. Иванов Л.Б. Об информативности применения когерентного анализа в клинической электроэнцефалографии // Журнал высшей нервной деятельности. 2011. Том 61. № 4. С. 499–512.
13. Изнак А.Ф., Изнак Е.В., Мельникова Т.С. Параметры когерентности ЭЭГ как отражение нейропластичности мозга при психической патологии (обзор литературы) // Психиатрия. 2018. № 2. С. 127–138.
14. Имедадзе Н.В. Тревожность как фактор учения в дошкольном возрасте. Психологические исследования. Тбилиси, 1966. С. 49.
15. Истратова О.Н., Эксакусто Т.В. Психодиагностика: коллекция лучших тестов. Ростов н/Д: Феникс, 2006. 375 с.
16. Каратыгин Н.А., Коробейникова И.И., Венерина Я.А., Бирюкова Е.В. Связь личностной тревожности со спектрально-когерентными характеристиками α 1-ритма электроэнцефалограммы человека // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 9. С. 91–97.
17. Князев Г.Г., Савостьянов А.Н., Левин Е.А., Слободской-Плюснин Я.Ю., Бочаров А.В. Электроэнцефалографические корреляты тревожности // Бюллетень СО РАМН. 2009. Том 135. № 1(125). С. 74–80.
18. Ковалев И.А. Модель тревоги Дж.А. Грея как нейрофизиологическая подоплека стилей привязанности // Психология. Историко-критические обзоры и современные исследования. 2020. Том 4А. С. 55–65.



19. Котова О.В., Беляев А.А., Акарачкова Е.С. Современные методы диагностики и лечения тревожные и депрессивных расстройств // РМЖ. Медицинское обозрение. 2021. № 10. С. 648–653.
20. Краснова В.В., Холмогорова А.Б. Социальная тревожность и ее связь с эмоциональной дезадаптацией, уровнем стресса и качеством интерперсональных отношений у студентов // Вопросы психологии. 2011. Том 3. URL: https://psyjournals.ru/journals/psyedu/archive/2011_n1/39944 (дата обращения: 29.09.2024)
21. Кулаишев А.П. Метрология вычислительного анализа ЭЭГ // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2018. № 8. С. 17–22.
22. Куличенко А.М., Эйсмонт Е.В., Павленко В.Б. Изменение когерентности ЭЭГ в результате прохождения курса нейротерапии детьми 5-11 лет // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского Биология. Химия. 2018. Том 4(70). № 1. С. 43–48.
23. Латын И.А., Рогачева Т.А. Возможности когерентного анализа ЭЭГ для оценки суицидального риска при депрессиях // Социальная и клиническая психиатрия. 2018. Том 28. № 2. С. 30–38.
24. Мельникова Т.С., Краснов В.Н., Юркин М.М. и др. Динамика параметров когерентности ЭЭГ разных стадиях формирования психоорганического синдрома // Журнал неврологии и психиатрии. 2010. № 2. С. 19–23.
25. Мельникова Т.С., Латын И.А., Саркисян В.В. Обзор использования когерентного анализа ЭЭГ в психиатрии // Социальная и клиническая психиатрия. 2009. Том 19. № 1. С. 90–94.
26. Мозг. Познание. Разум: введение в когнитивные нейронауки: в двух томах / Под ред. Б. Баарса, Н. Гейдж; перевод 2-го английского издания под общей редакцией профессора, д-ра биол. наук В.В. Шульговского. М.: Лаборатория знаний, 2019. 888 с.
27. Начарова М.А., Махин С.А., Павленко В.Б. Особенности взаимосвязи между индивидуальной пиковой частотой альфа-ритма ЭЭГ и характеристиками общего интеллекта // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского Биология. Химия. 2019. Том 5(71). № 2. С. 132–144.
28. Неробкова Л.Н., Ткаченко С.Б. Клиническая электроэнцефалография: учеб. пособие. М.: ГБОУ ДПО РМАПО, 2016. 213 с.
29. Павленко В.Б., Чёрный С.В., Губкина Д.Г. ЭЭГ корреляты тревоги, тревожности и эмоциональной стабильности у взрослых здоровых испытуемых // Нейрофизиология. 2009. Том 41. № 5. С. 400–408.
30. Пашков А.А., Дахтин И.С., Харисова Н.С. Электроэнцефалографические биомаркеры экспериментально индуцированного стресса // Вестник ЮУрГУ. Серия «Психология». 2017. Том 10. № 4. С. 68–82.
31. Попов Ю.А. Тревожность в системе типологических свойств человека: Автореферат дис. ... канд. психол. наук. М., 2006. 19 с.
32. Прихожан А.Н. Психология тревожности: дошкольный и школьный возраст. СПб: Питер, 2009. 119 с.
33. Рева Н.В., Павлов С.В., Коренек В.В. и др. Регуляция положительных и отрицательных эмоций у человека: исследование вызванных потенциалов головного мозга // Российский физиологический журнал. 2015. № 1. С. 114–122.
34. Русалова М.Н., Костюнина М.Б., Стрельникова И.В. Электрофизиологические корреляты основных компонентнов эмоционального напряжения / Всерос. научн. конф. С междунар. участием, посвящ. 150-летию со дня рожд. акад. И.П. Павлова. СПб, 1999. С. 271.
35. Свидерская Н.Е., Прудников В.Н., Антонов А.Г. Особенности ЭЭГ признаков тревожности у человека // Журнал высшей нервной деятельности. 2001. Том 51. № 2. С. 158–168.
36. Стилбергер Ч.Д. Концептуальные и методологические проблемы исследования тревожности. Стресс и тревога в спорте. М.: ФиС, 1983. С. 12.
37. Стрелец В.Б., Голикова Ж.В. Психофизиологические механизмы стресса у лиц с различной выраженностью активации // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2001. Том 51. С. 166–173.
38. Табидзе А.А. Тест Кеттелла и его новая интерпретация с позиции клинической психологии [Электронный ресурс] // Медицинская психология в России: электрон. науч. журн. 2015. № 6(35). URL: <https://oppl.ru/docs/novaya-paradigma-psiologii-lichnostiili-kto-v-dome-hozyain.pdf> (дата обращения: 29.09.2024).



39. Тибекина Л.М., Алимова М.А., Шумакова Т.А. Асимметричный мозг (психические, психофизиологические и клинические аспекты). Санкт-Петербург, 2018. 126 с.
40. Трошихина Е.Г., Манукян В.Р. Тревожность и устойчивые эмоциональные состояния в структуре психоэмоционального благополучия // Вестник СПбГУ. Психология и педагогика. 2017. Том 7. Вып. 3. С. 211–223.
41. 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 экзаменационального стресса // Ульяновский медико-биологический журнал. 2016. № 2. С. 141–150.
42. Турбасова Н.В., Карпов Н.В., Елифанов А.В. Особенности биоэлектрической активности головного мозга студенток выпускного курса в зависимости от их уровня тревожности // Человек. Спорт. Медицина. 2018. Том 18. № 3. С. 37–46.
43. Ханин Ю.Л. Краткое руководство к шкале реактивной и личностной тревожности Ч.Д. Спилбергера. Л., 1976. 18 с.
44. Хватова М.В. Особенности показателей электрической активности мозга при высоком уровне тревожности // Вестник ТГУ. 1999. Том 4. Вып. 1. С. 76–81.
45. Черемушкин Е.А., Петренко Н.Е., Алипов Н.Н., Сергеева О.В. Изменение личностных характеристик альфа-ритма у студентов с разным уровнем тревожности в условиях нормального сна и частичной депривации при решении задачи Go/NoGo // Физиология человека. 2022. Том 48. № 2. С. 79–85.
46. Черный С.В., Павленко В.Б. Тревожность, ее ЭЭГ корреляты и возможные механизмы // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». 2004. Том 17(56). № 1. С. 89–98.
47. Шамаева Т.Ф., Прошина М.В., Полякова Г.Ю., Поляков Ю.И., Клименко В.М. Электрофизиологические корреляты тревожно-депрессивного синдрома у пациентов разных возрастных групп // Физиология человека. 2018. Том 44. № 1. С. 5–15.
48. Шкуронат А.В. Когерентный анализ ЭЭГ у тугоухих детей // Нейрофизиология. 2010. Том 42. № 3. С. 263–270.
49. Al-Ezzi A., Kamel N., Faye I., Gunaseli E. Review of EEG, ERP, and Brain Connectivity Estimators as Predictive Biomarkers of Social Anxiety Disorder // Front Psychol. 2020. Vol. 11. P. 730–748.
50. Cheremushkin E.A., Petrenko N.E., Yakovenko I.A., et al. Neurophysiological Markers of High Anxiety Level in Man during the Process of Preparing for a Visual Recognition // Journal of Integrative Neuroscience. 2018. Vol. 17. № 3–4. P. 377–390.
51. Cohen M.X. Where Does EEG Come From and What Does It Mean? // Trends in Neurosciences. 2017. № 4. P. 208–218.
52. Daviu N., Bruchas M.R., Moghaddam B., Sandi C., Beyeler A. Neurobiological links between stress and anxiety // Neurobiol Stress. 2019. Vol. 11. P. 100191.
53. Hanaoka A., Kikuchi M., Komuro R. EEG coherence analysis in nevermedicated patients with panic disorder // Clin. EEG Neurosci. 2005. Vol. 36. № 1. P. 42–48.
54. Juruena M.F., Erer F., Cleare A.J., Young A.H. The Role of Early Life Stress in HPA Axis and Anxiety // Adv Exp Med Biol. 2020. Vol. 1191. P. 141–153.
55. Knyzev G.G. Cross-frequency coupling of brain oscillations: An impact of state anxiety // International journal of Psychophysiology. 2011. Vol. 80. P. 236–245.
56. Koles Z.J., Lind J.C., Flor-Henry P. Spatial Patterns in the Background EEG Underlying Mental Disease in Man // Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. 1994. Vol. 91. № 5. P. 319–328.
57. Paniccia M., Paniccia D., Thomas S., Taha T., Reed N. Clinical and nonclinical depression and anxiety in young people: A scoping review on heart rate variability // Autonomic Neuroscience. 2017. Vol. 208. P. 1–14.
58. Poppelaars E.S., Harrewijn A., Westenberg P.M., Melle J. W. Frontal delta-beta cross-frequency coupling in high and low social anxiety: An index of stress regulation? // Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience. 2018. Vol. 18. P. 764–777.
59. Thatcher R.W., McAlaster R., Lester M.L., et al. Hemispheric EEG asymmetries related to cognitive functioning in children // Cognitive processing in the right hemisphere / A. Percecman (Ed.). New York: Academic Press, 1983. P. 125–146.



60. Ward R.T., Smith S.L., Kraus B.T. et al. Alpha Band Frequency Differences between Low-Trait and High-Trait Anxious Individuals // *NeuroReport*. 2018. Vol. 29. № 2. P. 79–83.
61. Weger M., Sandi C. Neuroscience and Biobehavioral Reviews High anxiety trait : A vulnerable phenotype for stress-induced depression // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2018. Vol. 87. P. 27–37.
62. White E.K., Groeneveld K.M., Tittle R.K., et al. Combined neurofeedback and heart rate variability training for individuals with symptoms of anxiety and depression: A retrospective study // *NeuroRegulation*. 2017. Vol. 4. № 1. P. 37–48.
63. Xing M., Tadayonmejad R., MacNamara A., et al. Resting-state theta band connectivity and graph analysis in generalized social anxiety disorder // *NeuroImage: Clinical*. 2017. Vol. 13. P. 24–32.

References

1. Aleksandrov M.B., Ivanov L.B., Lytaev S.A. i dr. Elektroencefalografiya / Pod red. M.V. Aleksandrova. SPb: Strategiya budushchego, 2019. 209 p. (In Russ.).
2. Alfimova M.V., Lapin I.A., Aksenova E.V., Mel'nikova T.S. Vliyanie trevogi na kognitivnye processy pri depressivnom sindrome. *Social'naya i klinicheskaya psihiatriya*, 2017. Vol. 27, no.1, pp. 5–12. (In Russ.).
3. Voznesenskaya T.G., Sinyachkin M.S. Sravnitel'nyy psihofiziologicheskij analiz trevozhnyh rasstrojstv permanentnogo i paroksizmal'nogo haraktera. *Zh. nevrolog. i psihiatrii*, 1997. Vol. 97, no. 11, pp. 8–11. (In Russ.).
4. Gazenkampf K.A., Dmitrenko D.V., Karnauhov V.E., Firsova D.A. Korrelyaciya moshchnosti osnovnyh ritmov elektroencefalogrammy i koeficienta kogerentnosti s urovnem trevogi i depressii v yunosheskom vozraste. *Doktor.Ru*, 2019. No. 6(161), pp. 53–57. (In Russ.).
5. Gribanov A.V., Kozhevnikova I.S., Dzhos Yu.S., Nekhoroshkova A.N. Spontannaya i vyzvannaya elektricheskaya aktivnost' golovnogogo mozga pri vysokom urovne trevozhnosti. *Ekologiya cheloveka*, 2013. No. 1, pp. 39–47. (In Russ.).
6. Gribanov A.V., Pankov M.N., Deputat I.S., i dr. Nejrofiziologicheskie podhody k ocenke trevozhnosti u detej. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2018. No. 6, pp. 106–110. (In Russ.).
7. Dzhebrailova T.D., Korobejnikova I.I., Karatygin N.A., Biryukova E.V., Venerina YA.A. Dinamika spektral'nyh karakteristik EEG u lic s raznoj lichnostnoj trevozhnost'yu pri kognitivnoj deyatel'nosti. *Fiziologiya cheloveka*, 2021. Vol. 47, no. 1, p. 20. (In Russ.).
8. Dzhos Yu. S., Deryabina I.N., Emel'yanova T.V., Biryukov I.S. Osobennosti bioelektricheskoy aktivnosti golovnogogo mozga u zhenshchin pozhilogo vozrasta s vysokim urovnem lichnostnoj trevozhnosti. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovanij*, 2014. No. 4, pp. 21–30. (In Russ.).
9. Dolgotov T.V. Trevozhnost' – faktor formirovaniya motivacii dostizheniya uspekha, izbeganiya neudachi. M.: Laboratoriya knigi, 2010. 126 p. (In Russ.).
10. Ekusheva E.V., Damulin I.V. K voprosu o mezhpolutsharnoj asimmetrii v usloviyah normy i patologii. *Zhurnal nevrologii i psihiatrii*, 2014. No. 3, pp. 92–97. (In Russ.).
11. Ibagadzhieva L.A. Trevozhnost' kak psihologicheskoe yavlenie: interpretaciya termina, osobennosti proyavleniya. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, 2021. No. 11(113), Ch. 4, pp. 45–49. (In Russ.).
12. Ivanov L.B. Ob informativnosti primeneniya kogerentnogo analiza v klinicheskoy elektroencefalografii. *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti*, 2011. Vol. 61, no. 4, pp. 499–512. (In Russ.).
13. Iznak A.F., Iznak E.V., Mel'nikova T.S. Parametry kogerentnosti EEG kak otrazhenie nejroplastichnosti mozga pri psihicheskoy patologii (obzor literatury). *Psihiatriya*, 2018. No. 2, pp. 127–138. (In Russ.).
14. Imedadze N.V. Trevozhnost' kak faktor ucheniya v doshkol'nom vozraste. Psihologicheskie issledovaniya. Tbilisi, 1966. P. 49. (In Russ.).
15. Istratova O.N., Eksakusto T.V. Psihodiagnostika: kollekcija luchshih testov. Rostov n/D: Feniks, 2006. 375 p. (In Russ.).
16. Karatygin N.A., Korobejnikova I.I., Venerina YA.A., Biryukova E.V. Svyaz' lichnostnoj trevozhnosti so spektral'no-kogerentnymi karakteristikami 1-ritma elektroencefalogrammy cheloveka. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, 2018. No. 9, pp. 91–97. (In Russ.).
17. Knyazev G.G., Savost'yanov A.N., Levin E.A., Slobodskoj-Plyusnin Ya.Yu., Bocharov A.V. Elektroencefalograficheskie korrelyaty trevozhnosti. *Byulleten' SO RAMN*, 2009. Vol. 135, no. 1(125), pp. 74–80. (In Russ.).



18. Kovalev I.A. Model' trevogi Dzh.A. Greya kak nejrofiziologicheskaya podopleka stilej privyazannosti. *Psihologiya. Istoriko-kriticheskie obzory i sovremennye issledovaniya*, 2020. Vol. 9, no. 4A, pp. 55–65. (In Russ.).
19. Kotova O.V., Belyaev A.A., Akarachkova E.S. Sovremennye metody diagnostiki i lecheniya trevozhnye i depressivnyh rasstrojstv. *RMZH. Medicinskoe obozrenie*, 2021. No. 10, pp. 648–653. (In Russ.).
20. Krasnova V.V., Holmogorova A.B. Social'naya trevozhnost' i ee svyaz' s emocional'noj dezadaptaciej, urovнем stressa i kachestvom interpersonal'nyh otnoshenij u studentov. *Voprosy psihologii*, 2011. No. 3. URL: https://psyjournals.ru/journals/psyedu/archive/2011_n1/39944 (Accessed 29.09.2024) (In Russ.).
21. Kulaichev A.P. Metrologiya vychislitel'nogo analiza EEG. *Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk*, 2018. No. 8, pp. 17–22. (In Russ.).
22. Kulichenko A.M., Ejsmont E.V., Pavlenko V.B. Izmenenie kogerentnosti EEG v rezul'tate prohozhdeniya kursa nejroterapii det' mi 5-11 let. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo Biologiya. Himiya*, 2018. Vol. 4(70), no. 1, pp. 43–48. (In Russ.).
23. Lapin I.A., Rogacheva T.A. Vozmozhnosti kogerentnogo analiza EEG dlya ocenki suicidal'nogo riska pri depressiyah. *Social'naya i klinicheskaya psihiatriya*, 2018. Vol. 28, no. 2, pp. 30–38. (In Russ.).
24. Mel'nikova T.S., Krasnov V.N., Yurkin M.M., i dr. Dinamika parametrov kogerentnosti EEG raznyh stadiyah formirovaniya psihoorganicheskogo sindroma. *Zhurnal nevrologii i psihiatrii*, 2010. No. 2, pp. 19–23. (In Russ.).
25. Mel'nikova T.S., Lapin I.A., Sarkisyan V.V. Obzor ispol'zovaniya kogerentnogo analiza EEG v psihiatrii. *Social'naya i klinicheskaya psihiatriya*, 2009. Vol. 19, no. 1, pp. 90–94. (In Russ.).
26. Mozg. Poznanie. Razum: vvedenie v kognitivnye nejronauki: v dvuh tomah / pod red. B. Baarsa, N. Gejdzh; perevod 2-go anglijskogo izdaniya pod obshej redakciej professora, d-ra biol. nauk V.V. SHul'govskogo. M.: Laboratoriya znaniy, 2019. 888 p. (In Russ.).
27. Nacharova M.A., Mahin S.A., Pavlenko V.B. Osobennosti vzaimosvyazi mezhdru individual'noj pikovoj chastotoj al'fa-ritma EEG i harakteristikami obshchego intellekta. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo Biologiya. Himiya*, 2019. Vol. 5(71), no. 2, pp. 132–144. (In Russ.).
28. Nerobkova L.N., Tkachenko S.B. Klinicheskaya elektroencefalografiya: uchebnoe posobie. M.: GBOU DPO RMAPO, 2016. 213 p. (In Russ.).
29. Pavlenko V.B., CHyornyj S.V., Gubkina D.G. EEG korrelyaty trevogi, trevozhnosti i emocional'noj stabil'nosti u vzroslyh zdorovyh ispytuemyh. *Nejrofiziologiya*, 2009. Vol. 41, no. 5, pp. 400–408. (In Russ.).
30. Pashkov A.A., Dahtin I.S., Harisova N.S. Elektroencefalograficheskie biomarkery eksperimental'no inducirovannogo stressa. *Vestnik YUUrGU. Seriya "Psihologiya"*, 2017. Vol. 10, no. 4, pp. 68–82. (In Russ.).
31. Popov Yu.A. Trevozhnost' v sisteme tipologicheskikh svojstv cheloveka. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchyonoy stepeni kandidata psihologicheskikh nauk, 2006. M., 2006. 19 p. (In Russ.).
32. Prihozhan A.N. Psihologiya trevozhnosti: doshkol'nyj i shkol'nyj vozrast. SPb: Piter, 2009. 119 p. (In Russ.).
33. Reva N.V., Pavlov S.V., Korenek V.V., i dr. Regulyaciya polozhitel'nyh i otricatel'nyh emocij u cheloveka: issledovanie vyzvannyh potencialov golovnogo mozga. *Rossijskij fiziologicheskij zhurnal*, 2015. No. 1, pp. 114–122. (In Russ.).
34. Rusalova M.N., Kostyunina M.B., Strel'nikova I.V. Elektrofiziologicheskie korrelyaty osnovnyh komponentnov emocional'nogo napryazheniya / Vseros. nauchn. konf.smezhdunar.uchastiem, posvyashch.150-letiyu so dnya rozhd. akad. I.P. Pavlova. SPb, 1999. P. 271. (In Russ.).
35. Sviderskaya N.E., Prudnikov V.N., Antonov A.G. Osobennosti EEGpriznakov trevozhnosti u cheloveka. *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti*, 2001. Vol. 51, no. 2, pp. 158–168. (In Russ.).
36. Spilberger Ch.D. Konceptual'nye i metodologicheskie problemy issledovaniya trevozhnosti. Stress i trevoga v sporte. M.: FiS, 1983. P. 12. (In Russ.).
37. Strelec V.B., Golikova ZH.V. Psihofiziologicheskie mekhanizmy stressa u lic s razlichnoj vyrazhennost'yu aktivacii. *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*, 2001. Vol. 51, pp. 166–173. (In Russ.).
38. Tabidze A.A. Test Kettella i ego novaya interpretaciya s pozicii klinicheskoy psihologii [Elektronnyj resurs]. *Medicinskaya psihologiya v Rossii: elektron. nauch. zhurn.*, 2015. No. 6(35). URL: <https://oppl>.



- ru/docs/novaya-paradigma-psihologii-lichnostiili-kto-v-dome-hozyain.pdf (Accessed 29.09.2024). (In Russ.).
39. Tibekina L.M., Alimova M.A., Shumakova T.A. Asimmetrichnyj mozg (psihicheskie, psihofiziologicheskie i klinicheskie aspekty). Sankt-Peterburg, 2018. 126 p. (In Russ.).
 40. Troshihina E.G., Manukyan V.R. Trevozhnost' i ustojchivye emocional'nye sostoyaniya v strukture psihoemocional'nogo blagopoluchiya. *Vestnik SPbGU. Psihologiya i pedagogika*, 2017. Vol. 7, no. 3, pp. 211–223. (In Russ.).
 41. Trushina D.A., Vedyasova O.A., Pavlenko S.I. Prostranstvennyakartina ritmov elektroencefalogrammy u studentov-pravshej s raznymi urovnjami trevozhnosti v pokoe i vo vremya ekzamenacionnogo stressa. *Ul'yanovskij mediko-biologicheskij zhurnal*, 2016. No. 2, pp. 141–150. (In Russ.).
 42. Turbasova N.V., Karpov N.V., Elifanov A.V. Osobennosti bioelektricheskoy aktivnosti golovnogo mozga studentok vypusknogo kursa v zavisimosti ot ih urovnja trevozhnosti. *Chelovek. Sport. Medicina*, 2018. Vol. 18, no. 3, pp. 37–46. (In Russ.).
 43. Hanin Yu.L. Kratkoe rukovodstvo k shkale reaktivnoj i lichnostnojtrevozhnosti Ch.D. Spilbergera. L., 1976. 18 p. (In Russ.).
 44. Hvatova M.V. Osobennosti pokazatelej elektricheskoy aktivnosti mozga pri vysokom urovne trevozhnosti. *Vestnik TGU*, 1999. Vol. 4, no. 1, pp. 76–81. (In Russ.).
 45. Cheremushkin E.A., Petrenko N.E., Alipov N.N., Sergeeva O.V. Izmenenie lichnostnyh charakteristik al'fa-ritma u studentov s raznym urovnem trevozhnosti v usloviyah normal'nogo sna i chastichnoj deprivacii pri reshenii zadachi Go/NoGo. *Fiziologiya cheloveka*, 2022. Vol. 48, no. 2, pp. 79–85. (In Russ.).
 46. Chernyj S.V., Pavlenko V.B. Trevozhnost', ee EEG korrelyaty i vozmozhnye mekhanizmy. *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya "Biologiya, himiya"*, 2004. Vol. 17(56), no. 1, pp. 89–98. (In Russ.).
 47. Shamaeva T.F., Pronina M.V., Polyakova G.YU., Polyakov Yu.I., Klimenko V.M. Elektrofiziologicheskie korrelyaty trevozhno-depressivnogo sindroma u pacientov raznyh vozrastnyh grupp. *Fiziologiya cheloveka*, 2018. Vol. 44, no. 1, pp. 5–15. (In Russ.).
 48. Shkuropat A.V. Kogerentnyj analiz EEG u tugouhijh detej. *Nejrofiziologiya*, 2010. Vol. 42, no. 3, pp. 263–270. (In Russ.).
 49. Al-Ezzi A., Kamel N., Faye I., Gunaseli E. Review of EEG, ERP, and Brain Connectivity Estimators as Predictive Biomarkers of Social Anxiety Disorder. *Front Psychol*, 2020. Vol. 11, pp. 730–748.
 50. Cheremushkin E.A., Petrenko N.E., Yakovenko I.A., et al. Neurophysiological Markers of High Anxiety Level in Man during the Process of Preparing for a Visual Recognition. *Journal of Integrative Neuroscience*, 2018. Vol. 17, no. 3–4, pp. 377–390.
 51. Cohen M.X. Where Does EEG Come From and What Does It Mean? *Trends in Neurosciences*, 2017. No. 4, pp. 208–218.
 52. Daviu N., Bruchas M.R., Moghaddam B., Sandi C., Beyeler A. Neurobiological links between stress and anxiety. *Neurobiol Stress*, 2019. Vol. 11, p. 100191.
 53. Hanaoka A., Kikuchi M., Komuro R. EEG coherence analysis in nevermedicated patiets with panic disorder. *Clin. EEG Neurosci.*, 2005. Vol. 36, no. 1, pp. 42–48.
 54. Juruena M.F., Eror F., Cleare A.J., Young A.H. The Role of Early LifeStress in HPA Axis and Anxiety. *Adv Exp Med Biol*, 2020. Vol. 1191, pp. 141–153.
 55. Knyzev G.G. Cross-frequency coupling of brain oscillations: An impact of state anxiety. *International journal of Psychophysiology*, 2011. Vol. 80, pp. 236–245.
 56. Koles Z.J., Lind J.C., Flor-Henry P. Spatial Patterns in the Background EEG Underlying Mental Disease in Man. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 1994. Vol. 91, no. 5, pp. 319–328.
 57. Paniccia M., Paniccia D., Thomas S., Taha T., Reed N. Clinical and nonclinical depression and anxiety in young people: A scoping review on heart ratevariability. *Autonomic Neuroscience*, 2017. Vol. 208, pp. 1–14.
 58. Poppelaars E.S., Harrewijn A., Westenberg P.M., Melle J. W. Frontal delta-beta cross-frequence coupling in high and low social anxiety: An index of stress regulation? *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 2018. Vol. 18, pp. 764–777.
 59. Thatcher R.W., McAlaster R., Lester M.L. et al. Hemispheric EEG asymmetries related to cognitive functioning in children. *Cognitive processing in the right hemisphere* / A. Poreman (Ed.). New York: Academic Press, 1983. Pp. 125–146.



60. Ward R.T., Smith S.L., Kraus B.T., et al. Alpha Band Frequency Differences between Low-Trait and High-Trait Anxious Individuals. *NeuroReport*, 2018. Vol. 29, no. 2, pp. 79–83.
61. Weger M., Sandi C. Neuroscience and Biobehavioral Reviews High anxiety trait: A vulnerable phenotype for stress-induced depression. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2018. Vol. 87, pp. 27–37.
62. White E.K., Groeneveld K.M., Tittle R.K., et al. Combined neurofeedback and heart rate variability training for individuals with symptoms of anxiety and depression: A retrospective study. *NeuroRegulation*, 2017. Vol. 4, no. 1, pp. 37–48.
63. Xing M., Tadayonnejad R., MacNamara A., et al. Resting-state theta band connectivity and graph analysis in generalized social anxiety disorder. *NeuroImage: Clinical*, 2017. Vol. 13, pp. 24–32.

Информация об авторах

Рабаданова Амина Ибрагимовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и физиологии, Дагестанский государственный университет (ФГБОУ ВО «ДГУ»), г. Махачкала, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9041-6880>, e-mail: phisiodgu@mail.ru

Черкесова Дилара Улубиевна, доктор биологических наук, профессор кафедры психологии развития и профессиональной деятельности, Дагестанский государственный университет (ФГБОУ ВО «ДГУ»), г. Махачкала, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0390-5633>, e-mail: cher2005@mail.ru

Information about the authors

Amina I. Rabadanova, Leading Research Associate, Associate Professor, Chair of Zoology and Physiology, Dagestan State University, Makhachkala, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9041-6880>, e-mail: phisiodgu@mail.ru

Dilara U. Cherkesova, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Developmental and Professional Psychology, Dagestan State University, Makhachkala, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0390-5633>, e-mail: cher2005@mail.ru

Получена 27.02.2023

Received 27.02.2023

Принята в печать 01.09.2024

Accepted 01.09.2024