

Исследовательская статья

УДК [612.821.3:159.99]-057.875(045)

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-144-165

Чан Тху Чанг¹,Наталья Васильевна Звягина²,Анна Ильинична Талеева³,Антон Владимирович Клыков⁴

^{1, 2, 3, 4} Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова,
Архангельск, Россия

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ БЭА ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ У СТУДЕНТОВ РОССИИ И ВЬЕТНАМА С РАЗНЫМ УРОВНЕМ СИТУАТИВНОЙ ТРЕВОЖНОСТИ

Аннотация. В статье приведены исследования особенностей биоэлектрической активности (БЭА) головного мозга у 80 студентов (23 юноши, 57 девушек, 18–22 года) из России и Вьетнама с учетом пола и уровня ситуативной тревожности (СТ). Методом ЭЭГ была проанализирована динамика суммарного коэффициента кросскорреляции (ККр) в фоновом состоянии и при когнитивной деятельности (КД). У всех обследованных в фоновом состоянии и при когнитивной нагрузке выявлены изменения средних значений ККр внутри и между полушариями головного мозга с локализацией во фронтальных, центральных и теменных областях коры. Выявлена специфика локализации синхронно работающих областей коры у представителей России и Вьетнама с учетом пола. У российских студентов КД сопровождается усилением синхронизации БЭА справа в указанных областях, у вьетнамских студентов в деятельность вовлекаются оба полушария. У девушек при КД наблюдается достоверное формирование разнообразных длинных и коротких статистических взаимосвязей: у российских студенток внутриполушарно: симметрично — между фронтальными, центральными и теменными областями; асимметрично — слева между средневисочной и затылочной, центральной и затылочной, справа — между фронтальными и височными областями. В процессе ЭЭГ-исследования была выявлена специфика синхронизации БЭА головного мозга у представителей разных этнических групп с учетом уровня ситуативной тревожности. У российских студентов при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, с увеличением уровня тревожности наблюдается тенденция регионального расширения интеграций областей коры головного мозга по фронтально-окципитальной оси без вовлечения височных областей. У вьетнамских студентов в зависимости от уровня СТ наблюдается смещение процессов синхронизации БЭА в правую гемисферу, при этом у представителей с низкой и высокой СТ наблюдается минимизация синхронно работающих областей коры головного мозга.

Ключевые слова: электроэнцефалография, биоэлектрическая активность головного мозга, уровень тревожности, ситуативная тревожность, студент, когнитивная деятельность

Финансирование: исследование не имело финансовой поддержки.

Research article

UDC [612.821.3:159.99]-057.875(045)

DOI: 10.24412/2076-9091-2026-363-144-165

Thu Chan Chang¹,
Natalya Vasilievna Zvyagina²,
Anna Ilyinichna Taleeva³,
Anton Vladimirovich Klykov⁴

^{1, 2, 3, 4} Northern (Arctic) Federal University,
Arkhangelsk, Russia

SPATIAL ORGANIZATION OF BIOELECTRICAL ACTIVITY OF THE BRAIN DURING COGNITIVE ACTIVITY IN STUDENTS FROM RUSSIA AND VIETNAM WITH DIFFERENT SITUATIONAL ANXIETY

Abstract. The study examined the features of bioelectric activity in the brain of 80 students (23 males, 57 females, aged 18–22) from Russia and Vietnam, taking into account gender and the level of situational anxiety. We analyzed the dynamics of the total cross-correlation coefficient in the background state and during cognitive activity, such as mental counting. In all the subjects, changes in the average values of the cross-correlation coefficients within and between the hemispheres of the brain were detected during cognitive activity, with localization in the frontal, central, and parietal regions of the cortex, and with specific interactions between these regions in individuals of different ethnic groups and genders. In Russian students, mental counting is accompanied by increased synchronization of the EEG in the right hemisphere in these regions, while in Vietnamese students, both hemispheres are involved in the activity. In girls, there is a reliable formation of various long and short statistical relationships: in Russian students, there is an intra-hemispheric relationship: symmetrically between the frontal, central, and parietal regions; asymmetrically between the middle temporal and occipital regions on the left, and between the frontal and temporal regions on the right; in Vietnamese students, there is a minimization of the number of cortical regions with synchronized BEA. The study also revealed the features of synchronization of bioelectric activity in the brain of representatives of different ethnic groups, taking into account the level of situational anxiety. In Russian students, during cognitive activity, compared to the background, an increase in the level of anxiety is observed in the trend of regional expansion of integrations of cortical areas of the brain along the fronto-occipital axis without involving the temporal areas. In Vietnamese students, depending on the level of anxiety, there is a shift in the processes of EEG synchronization to the right hemisphere, while in representatives with low and high anxiety, there is a minimization of synchronously working cortical areas.

Keywords: electroencephalography, bioelectric activity of the brain, anxiety level, situational anxiety, student, cognitive activity

Funding statement: no funding was received for writing this manuscript.

Введение

Изучение мозговой активности имеет ключевое значение для понимания механизмов когнитивной деятельности (КД). На современном этапе развития общества возрастает необходимость изучения особенностей функционирования высших отделов ЦНС с учетом индивидуальных характеристик у представителей различных этнических групп. Расширение международного сотрудничества в образовании обуславливает необходимость выявления различий в функционировании структур головного мозга при когнитивной деятельности, что позволит адаптировать образовательные методики и повысить эффективность учебного процесса для учащихся из разных стран. В этом отношении информативным является метод регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) при выполнении когнитивной деятельности обучающимися в высших учебных заведениях.

Исследования деятельности ЦНС путем анализа характеристик биоэлектрической активности (БЭА) головного мозга проводятся давно и в этой области накоплен большой опыт, но закономерности пространственного распределения БЭА головного мозга при выполнении когнитивной деятельности с усложнением и с учетом этнической принадлежности молодых лиц изучены недостаточно [7; 2]. За последние десятилетия многими авторами показано, что у молодых лиц при выполнении активной когнитивной деятельности наблюдаются изменения кривой ЭЭГ, спектральной мощности (СМ) ритмов ЭЭГ, а также внутри- и межполушарного распространения волн электроэнцефалограммы [16; 18]. Показано, что при когнитивной нагрузке процессы активации будут распространяться в фронтально-окципитальном направлении [16]. Кроме того, имеются сведения об отличиях БЭА ЭЭГ в состоянии фона и при когнитивной деятельности у представителей разных этнических групп и культур [15]. Выявлено, что у европейцев в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами в затылочной зоне альфа-ритм имеет более высокий уровень мощности. При абстрактно-логической деятельности у европейцев активируется фронтальная кора головного мозга, где регистрируются бета-волны средней мощности, при этом изменения носят локальный характер. У представителей азиатского региона при данной деятельности наблюдается усиление дельта- и тета-активности в височных областях и расширение взаимодействия между различными областями мозга.

Показано, что БЭА ЭЭГ у представителей с разными психофизиологическими особенностями может иметь уникальные характеристики. Так, у обследованных с разным уровнем тревожности при достижении формально одинаковых результатов когнитивной деятельности зафиксированы достоверные отличия по разным параметрам волновой активности головного мозга [5]. Кроме того, при когнитивной деятельности с усложнением разные волны ЭЭГ имели достоверное распределение изменений в разных полушариях головного мозга,

например наблюдалось снижение спектральной мощности бета-ритма по фазам в височно-теменной коре правого полушария головного мозга [5; 1; 6]. Следует отметить, что исследование БЭА в процессе когнитивной деятельности с учетом уровня ситуативной тревожности студентов имеет особую значимость. Результаты изучения уровня тревожности студентов с помощью разных шкал достаточно подробно описаны во многих работах, и большинство из них имеют весьма схожие результаты, которые указывают на высокую представленность респондентов с умеренным и высоким уровнем ситуативной тревожности (СТ). Известно, что уровень тревожности может оказывать существенное влияние на БЭА мозга и на результативность когнитивной деятельности (КД) молодых лиц, поскольку снижает концентрацию, внимание, память, способность к принятию решений и обучению [2; 10; 11]. Существует взаимосвязь между эффективностью когнитивной деятельности и уровнем тревожности (закон Йеркса – Додсона о инвертированной *U*-образной кривой, где максимальная успешность соответствует определенному уровню средней/оптимальной тревожности) [14; 17]. Следует учитывать влияние и климатических условий проживания на функциональное состояние разных систем организма, в том числе на ЦНС. По данным ВОЗ, около 12–50 % студентов имеют психофизиологическое напряжение разного уровня, причиной которого могут быть неблагоприятные климатические условия [1; 12]. Приарктический регион Российской Федерации (Архангельск) и Вьетнам (Ханой) характеризуются множеством очевидных отличий (годовая амплитуда температуры воздуха, среднее количество осадков, общее количество солнечных часов в году и т. д.). Оба региона имеют экстремальные климатические особенности, которые оказывают влияние на физиологическое и психофизиологическое состояние человека, в том числе на уровень тревожности, что может усугубляться интенсивным учебным процессом [20]. Кроме того, представители разных этнических групп и культур по-разному реагируют на одни и те же условия деятельности, что также отражается в особенностях БЭА головного мозга. Известно, что особенности БЭА ЭЭГ представителей разных этнических групп являются отражением традиционных методов обучения и социальной организации общества [15].

Таким образом, особенности БЭА ЭЭГ представителей разных этнических групп обусловлены индивидуальными психофизиологическими факторами, культурно-социологическими (подходы в воспитании и образовании) и средовыми влияниями. Однако остается недостаточно изученным вопрос о том, как данные факторы влияют на пространственную организацию БЭА головного мозга в фоне и при когнитивной деятельности у представителей разных этнических групп.

Цель исследования: выявить особенности пространственной организации биоэлектрической активности головного мозга у российских и вьетнамских студентов в процессе выполнения когнитивной задачи с учетом уровня ситуативной тревожности и пола студентов.

Задачи исследования:

1. Выявить особенности пространственной организации биоэлектрической активности головного мозга у студентов России и Вьетнама в фоновом состоянии и при выполнении когнитивной деятельности.
2. Определить характер межполушарных и внутриполушарных взаимодействий биоэлектрической активности головного мозга с учетом этнической принадлежности и пола обследованных.
3. Проанализировать изменения биоэлектрической активности головного мозга при когнитивной деятельности по сравнению с фоновым состоянием с учетом этнической принадлежности и пола респондентов.
4. Оценить влияние уровня ситуативной тревожности на особенности синхронизации биоэлектрической активности головного мозга у представителей различных этнических групп.

Материалы и методы исследования

В исследовании приняли участие 80 человек: 40 студентов Северного (Арктического) федерального университета (САФУ, Архангельск, РФ, 9 юношей и 31 девушка, средний возраст — $20,37 \pm 1,27$ года) и 40 студентов Ханойского университета естественных наук (VNU-HUS, Ханой, Вьетнам, 14 юношей и 26 девушек, средний возраст — $18,35 \pm 0,89$ года). На момент обследования испытуемые отмечали физическое, психическое и социальное благополучие и не имели жалоб на здоровье. Исследование проводили в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (1964 год, с изменениями 2013 года), с письменного согласия обследованных после предварительного ознакомления с процедурой исследования.

Уровень СТ определяли с использованием шкалы тревожности Спилбергера – Ханина. Ранжирование обследованных по уровню СТ осуществлялось в соответствии со шкалой: 30 баллов и ниже — низкий, с 31 до 45 баллов — умеренный, выше 46 баллов — высокий уровень СТ.

ЭЭГ записывали с использованием системы «Нейрон-Спектр» («Нейро-софт») в фоновом состоянии (спокойное бодрствование с закрытыми глазами — Ф) и при когнитивной деятельности (когнитивная проба с закрытыми глазами — КД). Когнитивная деятельность представляла собой выполнение последовательных математических операций в уме с двумя разными действиями и с предъявлением результата устно к окончанию 2-минутного промежутка времени (испытуемым предлагалось начать с операции $2 \times 2 + 15$, а затем последовательно умножать полученный результат на 2 и прибавлять 15, стараясь выполнить как можно больше таких операций за отведенное время). В инструкции по когнитивной деятельности озвучивали необходимость выполнить как можно больше математических действий.

Запись ЭЭГ проводили в первой половине дня, в межсессионный период, в изолированном помещении, при температуре 22–23 °С, в положении сидя, действие отвлекающих факторов было сведено к минимуму. Использовали 19 электродов, которые были расположены на поверхности кожи головы монополярно в соответствии с международной системой «10–20» с расположением индифферентных электродов на мочках ушей (рис. 1).

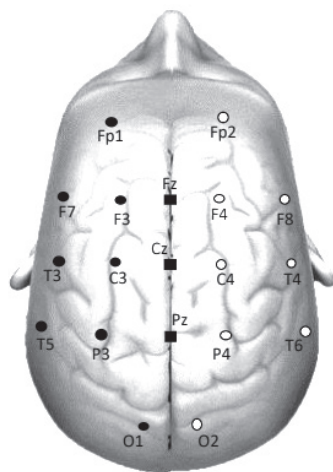


Рис. 1. Схема наложения электродов:

индексация четными цифрами — правое, нечетными — левое полушарие; z — отведения срединной лобно-затылочной области; Fp — переднелобные, F3,4 — лобные; F7,8 — передневисочные, T3,4 — средневисочные, T5,6 — задневисочные; C3,4 — центральные, P3,4 — теменные, O1,2 — затылочные отведения.

Перед обработкой ЭЭГ проводили визуальный анализ электроэнцефалограммы с целью удаления участков с артефактами разной природы. Для анализа ЭЭГ в фоновом состоянии и при выполнении когнитивной деятельности выбирали 60-секундные отрезки ЭЭГ. Расчет показателей БЭА головного мозга осуществляли в программе «Нейрон-Спектр.NET». Анализировали суммарный коэффициент кросс-корреляции (ККр) ЭЭГ межполушарных и внутриполушарных пар отведений головного мозга.

Статистический анализ полученных данных осуществляли с использованием программ «Нейрон-Спектр NET», SPSS-26. Все изучаемые показатели проходили процедуру проверки на нормальность распределения с применением критерия Шапиро – Уилка. Было установлено, что распределение выборки не является нормальным, в связи с этим использовали непараметрические критерии. Для выявления различий коэффициентов ККр ЭЭГ в состоянии фона и при когнитивной деятельности у представителей России и Вьетнама между этническими группами с учетом пола использовали непараметрический критерий Манна – Уитни. Также рассчитывали различия ККр ЭЭГ в фоновом состоянии по сравнению с ККр при когнитивной деятельности, при этом учитывали

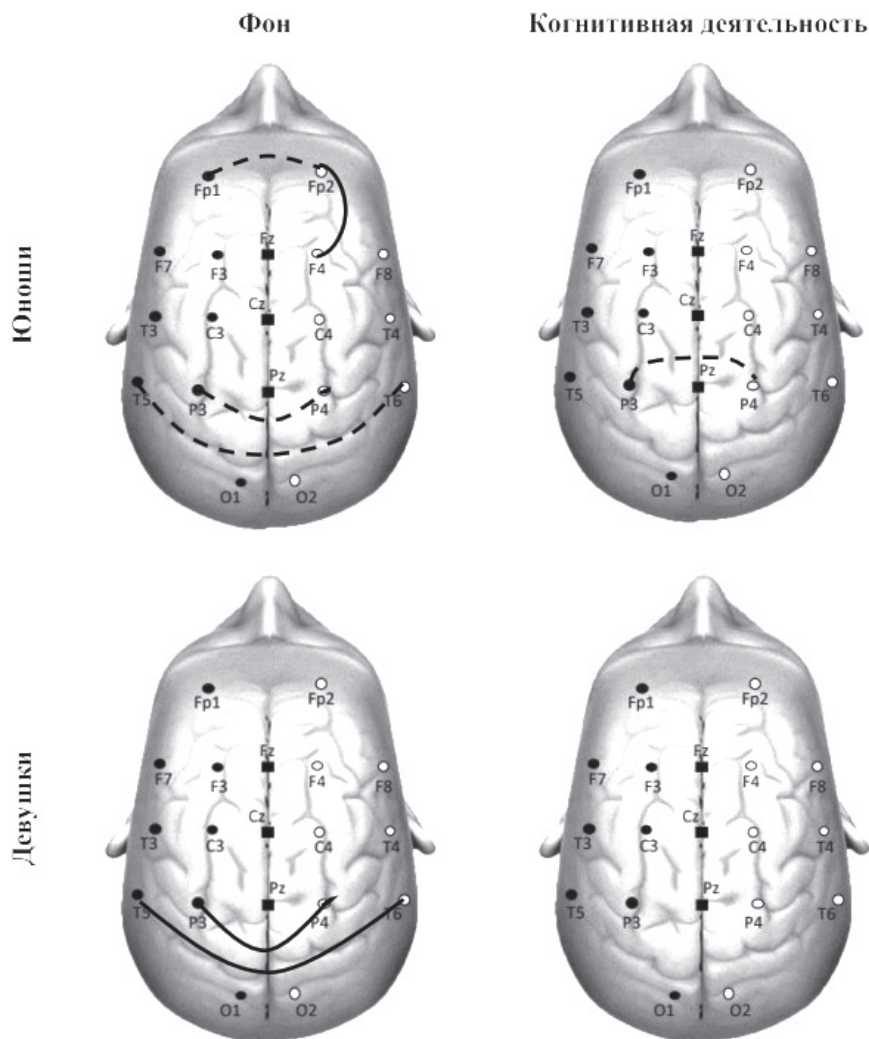
этническую принадлежность и пол респондентов с использованием непараметрического критерия *U*-Уилкоксона для двух связанных выборок. Различия считали значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования

Анализ БЭА ЭЭГ обследованных студентов России и Вьетнама разного пола в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами (Ф) и при выполнении когнитивной деятельности (КД) позволил выявить разницу в локализации и региональной распространенности изменений коэффициентов кросс-корреляции (ККр) ЭЭГ, что свидетельствует об особенностях пространственной организации биоэлектрической активности головного мозга у представителей разных групп (рис. 2). У вьетнамских юношей формируется достоверно большее межполушарное статистическое взаимодействие во фронтальных, теменных и затылочных областях, которое сохраняется при когнитивной деятельности в теменных областях; в группе девушек достоверно более высокие значения ККр формируются у российских представительниц только в состоянии фона между каудальными областями полушарий головного мозга.

Анализ пространственной организации статистических взаимодействий БЭА ЭЭГ у представителей разного пола с учетом принадлежности к азиатской или к российской этнической группе демонстрирует разную локализацию ККр (см. рис. 3). У российских юношей как в фоне, так и при когнитивной деятельности ККр достоверно выше, чем у девушек-россиянок между фронтальными и центральными регионами коры внутри полушарий, у девушек достоверно выше межполушарное взаимодействие в каудальных отделах полушарий головного мозга. У вьетнамских юношей, по сравнению с девушками, зафиксировано достоверно более высокое статистическое межполушарное взаимодействие между центральными и теменными областями в фоне, с добавлением взаимодействия между фронтальными областями при когнитивной нагрузке; у вьетнамских девушек достоверно выше значение ККр внутриполушарно.

Анализ выявленных с использованием непараметрического критерия *U*-Уилкоксона различий ККр ЭЭГ в фоновом состоянии, по сравнению с ККр, при когнитивной деятельности с учетом этнической принадлежности и пола респондентов демонстрирует разную стратегию синхронной активации суммарной БЭА ЭЭГ (см. рис. 4). У российских юношей при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, формируется статистическое взаимодействие БЭА ЭЭГ между фронтальными, средневисочными, центральными и теменными областями с локализацией в правом полушарии, у вьетнамских юношей — в обоих полушариях. У российских девушек при когнитивной деятельности,

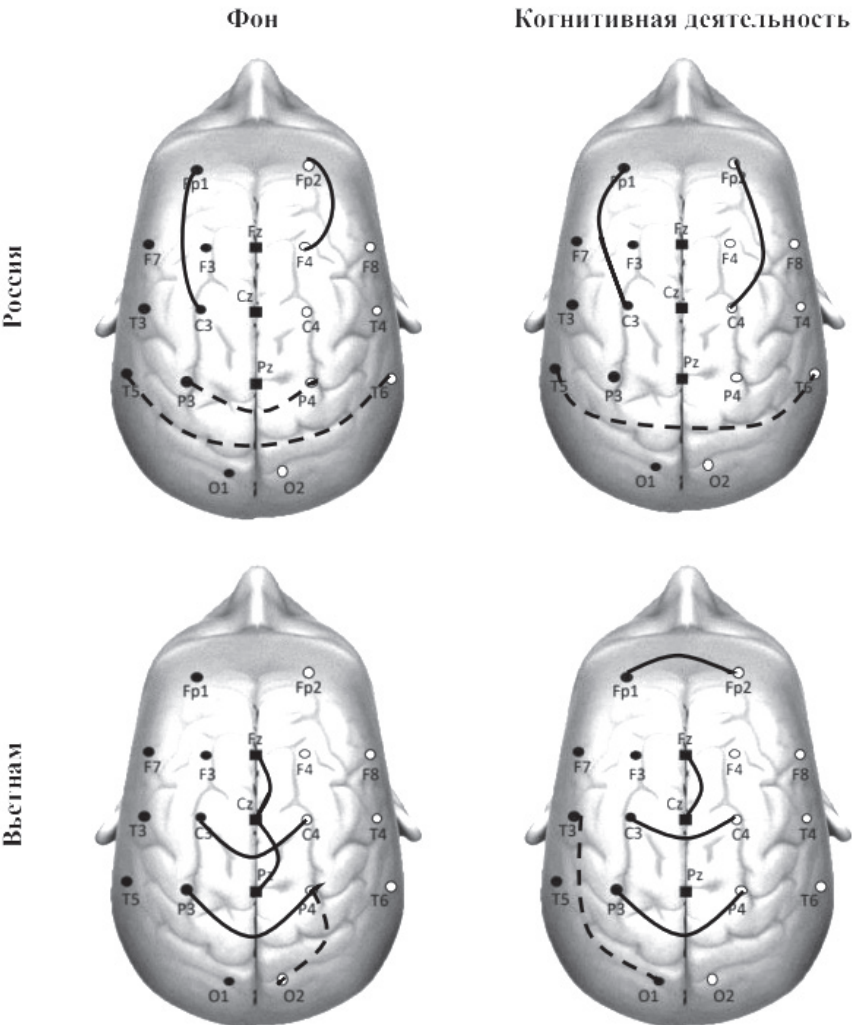


Примечание: прямая линия — значение ККр достоверно выше у представителей России; пунктирная линия — значение ККр достоверно выше у представителей Вьетнама.

Рис. 2. Достоверные отличия ККр ЭЭГ в фоне и при когнитивной деятельности у юношей и девушек России по сравнению с представителями Вьетнама (при $p \leq 0,05$)

по сравнению с фоном, формируются множественные внутрисловарные статистические взаимодействия от фронтальных к окципитальным областям с большей представленностью в левом полушарии, у вьетнамских девушек формируется схожее взаимодействие, но с более симметричной и локальной представленностью в обоих полушариях.

Анализ пространственной организации суммарного взаимодействия БЭА ЭЭГ у представителей разных этнических групп с учетом уровня ситуативной тревожности показал отличия в локализации ККр при когнитивной



Примечание: прямая линия — значение ККр достоверно выше у юношей; пунктирная линия — значение ККр достоверно выше у девушек.

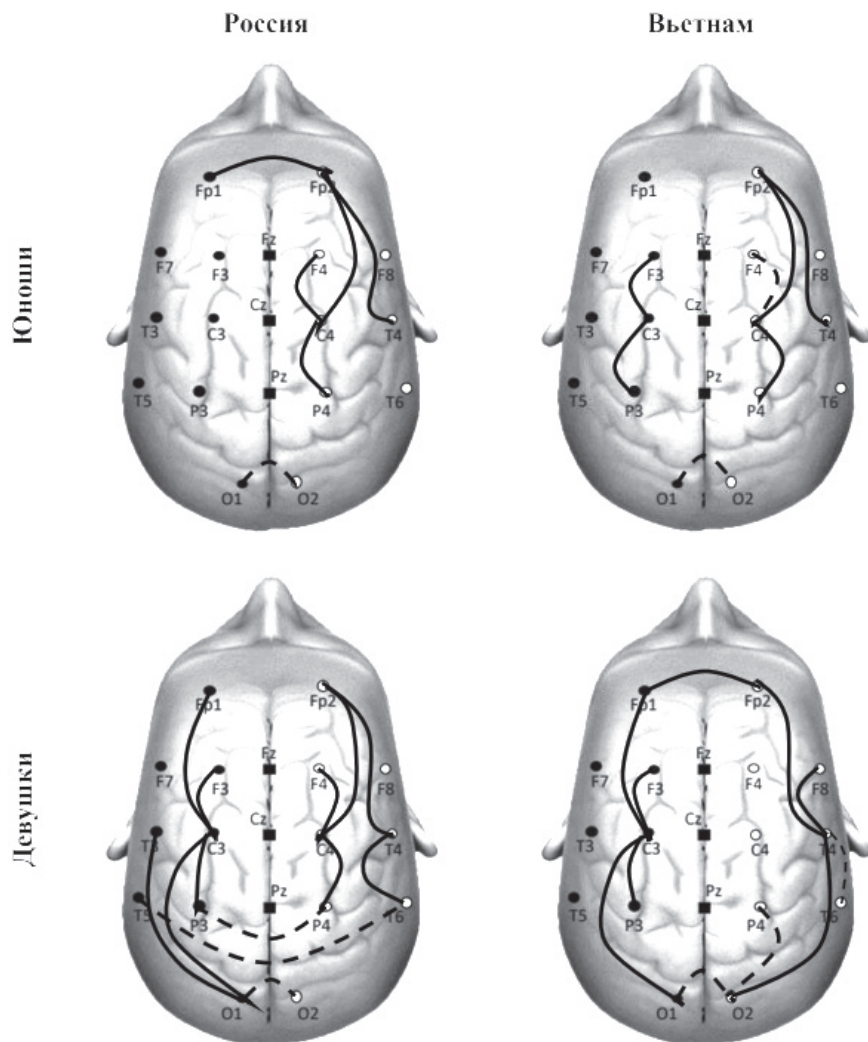
Рис. 3. Достоверные отличия ККр ЭЭГ в фоне и при когнитивной деятельности у юношей Вьетнама и России по сравнению с девушками (при $p \leq 0,05$)

деятельности по сравнению с фоном. В таблице 1 представлено распределение студентов по уровню СТ с учетом этнической принадлежности.

Таблица 1

Распределение студентов России и Вьетнама по уровню ситуативной тревожности

Студенты	Уровень тревожности		
	Низкий	Умеренный	Высокий
Россия	12	15	13
Вьетнам	11	17	12

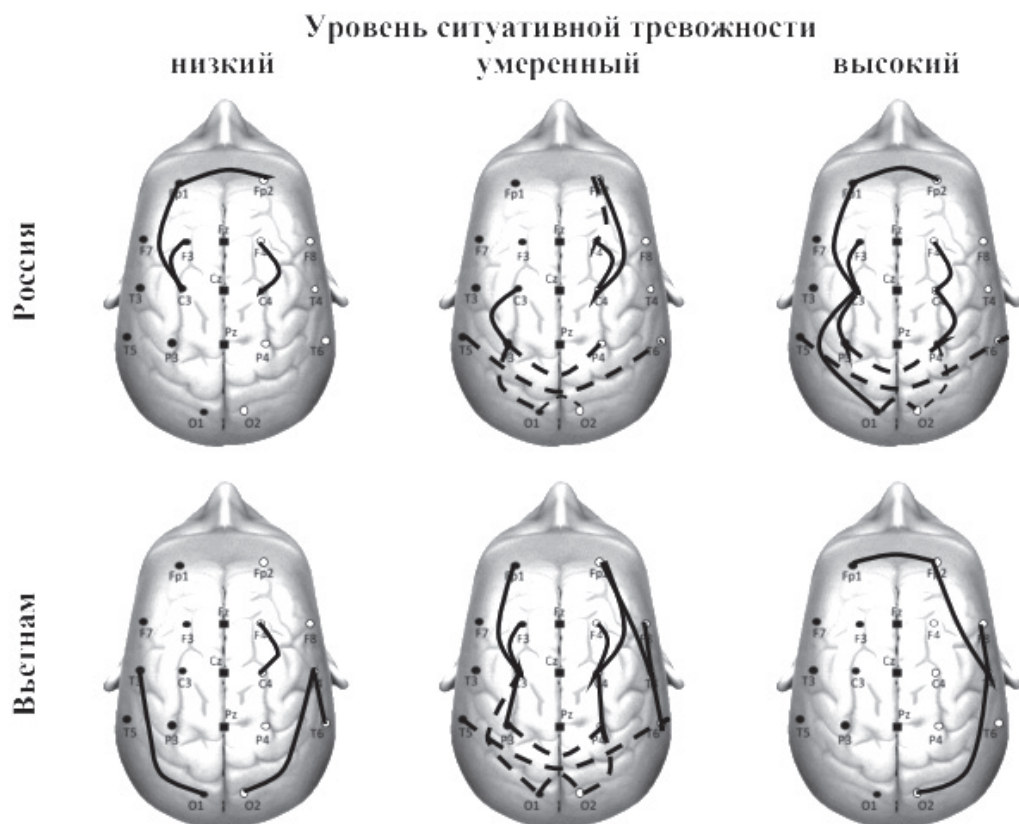


Примечание: сплошная линия — значение ККр достоверно выше при когнитивной деятельности по сравнению с фоном; пунктирная линия — значение ККр достоверно ниже при когнитивной деятельности по сравнению с фоном.

Рис. 4. Достоверные отличия ККр ЭЭГ обследованных студентов при когнитивной деятельности по сравнению с фоном (при $p \leq 0,05$)

При сравнении средних значений ККр ЭЭГ у обследованных с учетом принадлежности к этнической группе выявлена разная локализация и распространенность статистического взаимодействия БЭА у представителей с разным уровнем СТ (см. рис. 5).

У российских студентов прослеживается четкая тенденция к увеличению количества статистического взаимодействия по направлению от фронтальных к окципитальным областям в зависимости от уровня СТ. Так, у россиян с низкой СТ при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, достоверно



Примечание: прямая линия — значение ККр достоверно выше при когнитивной деятельности по сравнению с фоном; пунктирная линия — значение ККр достоверно ниже при когнитивной деятельности по сравнению с фоном.

Рис. 5. Достоверные изменения ККр ЭЭГ при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, у представителей России и Вьетнама с разным уровнем ситуативной тревожности (при $p \leq 0,05$)

более высокие ККр формируются симметрично в обоих полушариях между верхнелобными и центральными областями коры больших полушарий головного мозга, также большая синхронизация БЭА формируется: слева — между переднелобными и центральными, межполушарно — между передне-фронтальными областями. У российских студентов с умеренной СТ в синхронизацию БЭА при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, вовлекаются фронтальные и центральные области правого полушария, центральные и теменные левого полушария, при этом снижается межполушарное статистическое взаимодействие в каудальных областях полушарий головного мозга. У представителей с высоким уровнем СТ при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, наблюдается усиление статистического взаимодействия между соседними отведениями в обоих полушариях головного мозга (F3 – C3, C3 – T5; F4 – C4, C4 – T6), в левом полушарии — между переднелобными,

центральными и окципитальными областями, межполушарно — в передне-лобных областях.

У вьетнамских студентов с низкой СТ достоверно большая синхронизация БЭА при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, смещена в постцентральные области и ККр имеют симметричное расположение между средневисочными и затылочными отведениями обоих полушарий, справа — между верхнелобным и центральным, средневисочным и задневисочным отведениями. У представителей с умеренным уровнем СТ наблюдается усиление взаимодействия между переднелобными и центральными, верхнелобными и центральными, центральными и теменными областями симметрично в обоих полушариях головного мозга, при этом подключаются все теменные области правого полушария, а суммарная синхронизация БЭА в постцентральных областях достоверно ниже. У вьетнамских студентов с высокой СТ при когнитивной деятельности формируются более сильные длинные статистические связи в левой гемисфере между переднелобными и средневисочными, средневисочными и затылочными, передневисочными и средневисочными областями, а также межполушарно между переднелобными областями.

Как показали результаты электроэнцефалографического исследования, пространственная организация синхронизации суммарной БЭА имеет отличия у представителей разных этнических групп как в состоянии спокойного бодрствования, так и при выполнении когнитивной нагрузки. При сравнении ККр БЭА ЭЭГ российских и вьетнамских юношей выявлено достоверно высокая межполушарная синхронизация биоэлектрических процессов у студентов Вьетнама. При сравнении ККр БЭА ЭЭГ девушек межполушарное взаимодействие в постцентральных областях более выражено у российских представительниц. При сравнении параметров ККр в состоянии фона и при КД внутри этнических групп между юношами и девушками также выявлена специфика: у российских юношей наблюдается симметричное внутриполушарное взаимодействие между фронтальными и центральными областями, у девушек — межполушарное в постцентральных областях. У вьетнамских юношей фоновое состояние и КД сопровождается формированием ККр между полушариями (Ф — центральные и теменные области, КД — дополнительно передне-центральные области), у вьетнамских студенток локализация синхронных процессов БЭА не выходит за пределы полушарий (Ф — правое полушарие P4 – O2; КД — левое полушарие T3 – O1).

При оценке изменений ККр при КД, по сравнению с фоном, с учетом этнической группы и пола у российских юношей наблюдается усиление синхронизации процессов суммарной БЭА фронтальных, височных, центральных, теменных областей правого полушария и межполушарно в передне-фронтальной области; у студентов Вьетнама КД сопровождается аналогичным усилением синхронизации суммарной БЭА в правом полушарии с привлечением верхнелобных, центральных и теменных областей левого полушария.

В целом КД у российских студентов сопровождается усилением синхронизации БЭА справа в указанных областях, у вьетнамских студентов в деятельность вовлекаются оба полушария. У девушек при КД наблюдается достоверное формирование разнообразных длинных и коротких статистических взаимосвязей: у российских студенток внутриполушарно: симметрично — между фронтальными, центральными и теменными областями; асимметрично — слева между средневисочной и затылочной, центральной и затылочной, справа — между фронтальными и височными областями. У вьетнамских студенток наблюдалась минимизация количества областей коры с синхронизованной БЭА по сравнению с россиянками: выявлены более высокие ККр слева между передне-фронтальными и центральными, центральными и затылочными областями, справа — передне-фронтальными и средневисочными, средневисочными и затылочными, межполушарно — между передне-фронтальными областями. Таким образом, пространственная организация взаимодействия биоэлектрических процессов коры в фоне и при когнитивной деятельности имеет свою специфику у представителей разных этнических групп с учетом пола. Формирование у девушек длинных кросс-связей с вовлечением от фронтальных до затылочных областей коры головного мозга внутри полушарий свидетельствует о большей степени их интеграции, при выполнении данной когнитивной деятельности (причем у российских студенток эта интеграция носит более общий характер), что предполагает усиленную способность воспринимать и обрабатывать разнородную информацию, решать задачи более синтетически. У юношей синхронизация суммарной БЭА носит более локальный характер с большим вовлечением правого полушария, исключая окципитальные области (отметим, что у вьетнамцев это исключительно внутриполушарные кросс-связи правой и левой гемисфер), что соответствует стратегии концентрации внимания и вовлечения в деятельность специфических мозговых структур для решения математических задач. Кроме того, особенности локализации кросс-корреляционных отношений БЭА мозга представителей разного пола могут быть связаны с организацией функциональной асимметрии и половыми различиями эмоционального сопровождения когнитивной деятельности с усложнением. У представителей женского пола, как правило, степень взаимодействия мозговых процессов при когнитивной деятельности выше, что выражается в более согласованной деятельности регионов коры головного мозга. У юношей различные аспекты когнитивной деятельности сопровождаются более латерализованной активностью, при этом различные аспекты обработки информации разделены между полушариями.

Общим в пространственной организации церебрального биоэлектрического взаимодействия у всех обследованных является вовлечение в когнитивную деятельность через синхронизацию биоэлектрических процессов фронтальных, центральных и теменных областей коры головного мозга. Значимые изменения коэффициентов ККр, локализованные в этих областях, соответствуют представлениям о динамической локализации функций в коре головного мозга.

Известно, что активация фронтальной области головного мозга сопровождается мыслительную деятельность человека, связанную с когнитивным контролем [9]. Многочисленные исследования свидетельствуют, что когнитивная нагрузка, по сравнению с фоном, сопровождается равномерным увеличением уровня внутрислошарных связей [4; 8]. Однако усложнение условий когнитивной деятельности могут повлиять на пространственную организацию взаимодействий областей коры головного мозга в процессе когнитивной деятельности. В нашем исследовании студенты выполняли математические действия с ограничением по времени и с установкой выполнить максимальное количество действий, что усложняло деятельность и могло вызвать напряжение ситуативной тревожности. Центральные и теменные доли мозга играют ключевую роль в интеграции сенсорной информации и координации внимания и отвечают за восприятие, ориентацию внимания на внешние объекты и стимулы. При тревожности, которая возникает в неопределенных ситуациях или в условиях стресса, люди склонны фокусировать внимание на возможных негативных воздействиях стимула, что и ведет к активации центральных и теменных долей [19]. Схожие данные были получены в ЭЭГ-исследовании, где деятельность респондентов была связана с увеличением эмоциональной нагрузки [13]. При выполнении мыслительной деятельности с усложнением мозг должен быстро адаптироваться и обрабатывать информацию о воздействующих стимулах. Это увеличивает координационную работу разных областей мозга, что может вызвать более выраженную синхронизацию нейронных процессов.

В процессе ЭЭГ-исследования была выявлена специфика синхронизации БЭА головного мозга у представителей разных этнических групп с учетом уровня СТ. У российских студентов при когнитивной деятельности, по сравнению с фоном, с увеличением уровня тревожности наблюдается тенденция регионального расширения интеграций областей коры головного мозга. Так, у представителей с высокой СТ наблюдается формирование кросс-связей по фронтально-зиппитальной оси без вовлечения височных областей. У вьетнамских студентов в зависимости от уровня СТ наблюдается смещение процессов синхронизации БЭА в правую гемисферу, при этом у представителей с низкой и высокой СТ наблюдается минимизация синхронно работающих областей коры (при низкой СТ — со смещением в зиппитально-височные области обеих полушарий, при высокой СТ — по оси фронтально-височно-зиппитальной с ККр между переднезобными областями). У представителей с умеренной СТ наблюдается расширение локализации синхронно работающих областей коры головного мозга по направлению фронтально-теменному с достоверной синхронной БЭА во всех височных регионах правого полушария. Выявленная специфика подтверждает закон Йеркса – Додсона о инвертированной *U*-образной кривой, согласно которому максимальная эффективность БЭА соответствует среднему или умеренному уровню тревожности [14].

То есть представители с умеренной СТ имеют более сильные и разнообразные связи между областями коры головного мозга, которые отражаются величиной коэффициентов ККр. По результатам нашего исследования БЭА российских представителей максимальное количество ККр характерно для студентов с высокой СТ. Формирование ККр и их разнообразие при КД можно объяснить особенностями нейрофизиологических механизмов регуляции когнитивных функций — уровень СТ коррелирует с уровнем высвобождения катехоламинов и глюкокортикоидов, влияющих на скорость возникновения и проведения биоэлектрического потенциала нейронов коры. У представителей с низкой СТ существует баланс между возбуждением и торможением, что отражается в формировании локальных взаимосвязей между функционально-специфическими для данной деятельности областями. Небольшое смещение баланса в сторону возбуждения у студентов из России с умеренной СТ приводит к небольшому расширению синхронизации БЭА. У представителей России с высокой СТ и Вьетнама со средней СТ смещение равновесия в сторону возбуждения вызывает вовлечение в реализацию когнитивной нагрузки дополнительных областей коры больших полушарий. У вьетнамских студентов с высокой СТ, вероятно, дисбаланс возбуждения/торможения приводит к десинхронизации между различными областями мозга, что минимизирует формирование ККр.

Таким образом, у представителей разной этнической принадлежности с учетом пола и уровня ситуативной тревожности выявлены особенности БЭА ЭЭГ при выполнении когнитивной деятельности с усложнением (табл. 2).

Очевидно, что эти особенности обусловлены совокупностью влияния индивидуальных, социально-культурных, образовательных, нейрофизиологических, поведенческих факторов на динамику взаимодействия нейронных сетей мозга. Так, российская образовательная традиция, ориентированная на аналитическое и индивидуальное мышление, формирует более локализованную и латерализованную активность, тогда как вьетнамская традиция с коллективистским и интегративным подходом обеспечивает симметричное вовлечение обоих полушарий. Средовые факторы, включая жаркий климат, через повышение ситуативной тревожности влияют на синхронизацию биоэлектрической активности и могут минимизировать число вовлеченных корковых областей. Таким образом, сочетание культурно-образовательных и климатических факторов определяет особенности пространственной организации БЭА при когнитивной деятельности. Полученные данные подчеркивают необходимость изучения пространственной организации БЭА ЭЭГ головного мозга представителей разных культур, с разным уровнем устойчивости к стресс-воздействиям. Понимание особенностей церебрального обеспечения когнитивных функций с учетом индивидуальных, национальных и половых особенностей позволит оптимизировать учебные программы для повышения эффективности обучения.

Таблица 2

Особенности БЭА головного мозга у студентов России и Вьетнама

Группа	Пол	Локализация синхронизации	Особенности при когнитивной деятельности	Влияние ситуативной тревожности
Россия	Юноши	Фронтальные, центральные, теменные, правое полушарие	Усиление внутрислошарной и межполушарной синхронизации	Высокая СТ — расширение межрегиональных связей
	Девушки	Фронтальные, центральные, теменные, межполушарное взаимодействие	Длинные и короткие внутрислошарные связи, интеграция коры	Высокая СТ — усиление интеграции по фронтально-окипитальной оси
Вьетнам	Юноши	Фронтальные, центральные, теменные, оба полушария	Симметричное межполушарное взаимодействие	Низкая/высокая СТ — минимизация синхронной активности; умеренная СТ — расширение локализации
	Девушки	Внутрислошарные связи, локальные	Минимальное число синхронных областей	Высокая СТ — длинные связи в левой гемисфере; умеренная СТ — симметричное усиление взаимодействия

Рекомендации:

1. При организации учебного процесса целесообразно учитывать различия в нейрофизиологических механизмах когнитивной деятельности у студентов разных этнических групп, включая особенности межполушарной синхронизации биоэлектрической активности головного мозга.

2. Рекомендуется учитывать уровень ситуативной тревожности как фактор, влияющий на организацию биоэлектрической активности и эффективность когнитивной деятельности, с целью его оптимизации.

3. Целесообразно проведение дальнейших исследований с расширением выборки и учетом дополнительных факторов, влияющих на биоэлектрическую активность головного мозга.

Заключение

По результатам проведенного исследования были сделаны следующие выводы.

1. Было установлено, что пространственная организация биоэлектрической активности головного мозга у студентов России и Вьетнама имеет отличия как в фоновом состоянии, так и при когнитивной деятельности, что проявляется в различной локализации и распространенности межполушарных и внутриполушарных взаимодействий.

2. Показано, что при когнитивной деятельности у российских студентов наблюдается преимущественное усиление синхронизации биоэлектрической активности в правом полушарии, тогда как у вьетнамских студентов в деятельность вовлекаются оба полушария.

3. Выявлены гендерные различия: у девушек формируется более выраженная система длинных и коротких внутриполушарных связей, свидетельствующая о большей интеграции корковых процессов, тогда как у юношей синхронизация носит более локальный и латерализованный характер.

4. Было установлено, что уровень ситуативной тревожности оказывает значимое влияние на пространственную организацию биоэлектрической активности: у российских студентов с повышением тревожности наблюдается расширение межрегиональных взаимодействий, тогда как у вьетнамских студентов отмечается смещение синхронизации и тенденция к уменьшению количества синхронно работающих областей коры головного мозга.

Список источников

1. Афтанас Л. И., Павлов С. В. Особенности межполушарного распределения спектров мощности ЭЭГ у высокотренированных индивидуумов в эмоционально-нейтральных условиях и при отрицательной эмоциональной активации // Журнал высшей нервной деятельности имени И. П. Павлова. 2005. Т. 55. № 4. С. 322–328. EDN: HRZWNP.

2. Бабаев Т. М., Казаренков В. И. Особенности переживания тревожности у греческих и российских студентов // Личностно-профессиональное развитие человека. Возрастные, гендерные и межкультурные аспекты. Акмеология. 2018. С. 18–23. EDN: XNBTXN.

3. Вольф Н. В. Нейрофизиологический анализ механизмов полового диморфизма когнитивных стратегий: роль селективных процессов / Н. В. Вольф, О. М. Разумникова, А. О. Брызгалов и др. // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2010. Т. 30, № 4. С. 6–13. EDN: MXGOFJ.

4. Вольф Н. В., Тарасов И. В. Связь осцилляций на частотах тета- и бета-ритмов ЭЭГ с эффективностью творческой деятельности // Физиология человека. 2010. Т. 36. №2. С. 15–22. EDN LOJPBT.

5. 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. Т. 47. №1. С. 20–30. <https://doi.org/10.31857/S0131164621010033>. EDN: AEIHVY.

6. Джебраилова Т. Д., Коробейникова И. И., Каратыгин Н. А., Венерина Я. А., Янтикова Е. В. Когерентность тета1-диапазона ЭЭГ в состоянии относительного покоя и при тестировании внимания у испытуемых с разной личностной тревожностью // Журнал высшей нервной деятельности имени И. П. Павлова. 2023. Т. 73. № 2. С. 214–229. <https://doi.org/10.31857/S0044467723020041>. EDN: IFTQLH.
7. Иваницкий А. М. «Чтение мозга»: достижения, перспективы и этические проблемы // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. 2012. Т. 62. № 2. С. 133–142. EDN: OWXFFP.
8. Кузнецова Т. Г., Горбачева М. В., Булгакова О. С. Кросскорреляционный анализ ЭЭГ и асимметрия альфа-ритма у студентов при достижении цели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 10-5. С. 845–848. EDN: ULVDEP.
9. Кураев Г. А., Соболева И. В., Сороколетова Л. Г. Формирование функциональной межполушарной асимметрии в динамике обучения // Функциональная межполушарная асимметрия: хрестоматия / под ред. Н. Н. Боголепова, В. Ф. Фокина. Москва: Научный мир, 2004. 728 с. С. 215–262. ISBN: 5-89176-257-9. EDN: YSZUTD.
10. Рабаданова А. И., Черкесова Д. У. Особенности синхронизации ритмов ЭЭГ покоя у девушек с высоким и низким уровнем тревожности // Экспериментальная психология. 2024. Т. 17. № 3. С. 185–202. <https://doi.org/10.17759/exppsy.2024170313>. EDN: TEWQQU.
11. Bayram N., Bilgel N. The prevalence and socio-demographic correlations of depression, anxiety and stress among a group of university students // Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology. 2008. Vol. 43, № 8. P. 667–672. <https://doi.org/10.1007/s00127-008-0345-x>. EDN: EPNXQE
12. Bruffaerts R., Mortier P., Kiekens G., Auerbach R. P., Cuijpers P., Demyttenaere K., Green J. G., Nock M. K., Kessler R. C. Mental health problems in college freshmen: Prevalence and academic functioning // Journal of Affective Disorders. 2018. Vol. 225, № 1. P. 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.07.044>
13. Davidson R. J. Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion // Brain and Cognition. 1992. Vol. 20. Iss. 1. P. 125–151. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(92\)90065-T](https://doi.org/10.1016/0278-2626(92)90065-T)
14. Derryberry D., Reed M. A. Anxiety-related attentional biases and their regulation by attentional control // Journal of Abnormal Psychology. 2002. Vol. 111. № 2. P. 225–236. EDN: EGOEF
15. Immordino-Yang M. H., Yang X. F. Cultural differences in the neural correlates of social-emotional feelings: an interdisciplinary, developmental perspective // Current Opinion in Psychology. 2017. Vol. 17. P. 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.06.008>. EDN: YGHQRH.
16. Klimesch W. The frequency architecture of brain and brain-body oscillations: an analysis // European Journal of Neuroscience. 2018. Vol. 48, № 7. P. 2431–2453. <https://doi.org/10.1111/ejn.14192>. EDN: NFTZPL.
17. McNaughton N., Gray J. A. The Neuropsychology of Anxiety: An enquiry into the functions of the septo-hippocampal system. 3rd ed. Oxford: Oxford University Press, 2024. 648 p. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198843313.001.0001>
18. Michel C. M., Koenig T. E. EG microstates as a tool for studying the temporal dynamics of whole-brain neuronal networks: A review // Neuroimage. 2018. Vol. 180. P. 577–593. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.11.062>. EDN: YENFVB.

19. Paulus M. P., Stein M. B. An insular view of anxiety // *Biological Psychiatry*. 2006. Vol. 60. Iss. 4. P. 383–387. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.03.042>
20. Spielberger C. D., Reheiser E. C. Assessment of Emotions: Anxiety, Anger, Depression, and Curiosity // *Applied Psychology: Health and Well-Being*. 2009. Vol. 1. Iss. 3. P. 271–302. <https://doi.org/10.1111/j.1758-0854.2009.01017.x>

References

1. Aftanas L. I., Pavlov S. V. Features of interhemispheric distribution of EEG power spectra in high-anxiety individuals in emotionally neutral conditions and during negative emotional activation. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*. 2005;55(4):322–328. EDN: HRZWNP. (In Russ.).
2. Babaev T. M., Kazarenkov V. I. Features of anxiety experience among Greek and Russian students. *Personal and Professional Development of a Person. Age, Gender and Intercultural Aspects*. *Acmeology*. 2018. P. 18–23. EDN: XNBTXN. (In Russ.).
3. Volf N. V., Razumnikova O. M., Bryzgalov A. O. et al. Neurophysiological analysis of mechanisms of sexual dimorphism of cognitive strategies: the role of selective processes. *Bulletin of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2010;30(4):6–13. EDN: MXGOFJ. (In Russ.).
4. Volf N. V., Tarasov I. V. Relationship between theta and beta EEG rhythm oscillations and the effectiveness of creative activity. *Human Physiology*. 2010;36(2):15–22. EDN: LOJPBT. (In Russ.).
5. Dzhebrailova T. D., Korobeinikova I. I., Karatygin N. A., Biryukova E. V., Venerina Ya. A. Dynamics of EEG spectral characteristics in individuals with different trait anxiety during cognitive activity. *Human Physiology*. 2021;47(1):20–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0131164621010033>. EDN: AEIHVY.
6. Dzhebrailova T. D., Korobeinikova I. I., Karatygin N. A., Venerina Ya. A., Yantikova E. V. Theta1-EEG coherence in a state of relative rest and during attention testing in subjects with different trait anxiety. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*. 2023;73(2):214–229. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0044467723020041>. EDN: IFTQLH.
7. Ivanitsky A. M. “Brain reading”: achievements, prospects and ethical problems. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*. 2012;62(2):133–142. EDN: OWXFFP. (In Russ.).
8. Kuznetsova T. G., Gorbacheva M. V., Bulgakova O. S. Cross-correlation analysis of EEG and alpha rhythm asymmetry in students when achieving a goal. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2015;(10-5):845–848. EDN: ULVDEP. (In Russ.).
9. Kuraev G. A., Soboleva I. V., Sorokoletova L. G. Formation of functional interhemispheric asymmetry in the dynamics of learning. *Functional Interhemispheric Asymmetry: textbook*. Ed. by N. N. Bogolepov, V. F. Fokin. Moscow: Nauchnyi Mir; 2004. 728 p. P. 215–262. EDN: YSZUTD. (In Russ.).
10. Rabadanova A. I., Cherkesova D. U. Features of resting EEG rhythm synchronization in girls with high and low anxiety levels. *Experimental Psychology*. 2024;17(3):185–202. (In Russ.). <https://doi.org/10.17759/exppsy.2024170313>. EDN: TEWQQU.
11. Bayram N., Bilgel N. The prevalence and socio-demographic correlations of depression, anxiety and stress among a group of university students. *Social Psychiatry*

and Psychiatric Epidemiology. 2008;43(8):667-672. <https://doi.org/10.1007/s00127-008-0345-x>. EDN: EPNXQE.

12. Bruffaerts R., Mortier P., Kiekens G., Auerbach R. P., Cuijpers P., Demyttenaere K., Green J. G., Nock M. K., Kessler R. C. Mental health problems in college freshmen: Prevalence and academic functioning. *Journal of Affective Disorders*. 2018;225(1):97–103. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.07.044>

13. Davidson R. J. Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion. *Brain and Cognition*. 1992;20(1):125–151. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(92\)90065-T](https://doi.org/10.1016/0278-2626(92)90065-T)

14. Derryberry D., Reed M. A. Anxiety-related attentional biases and their regulation by attentional control. *Journal of Abnormal Psychology*. 2002;111(2):225–236. EDN: EOG0EF.

15. Immordino-Yang M. H., Yang X. F. Cultural differences in the neural correlates of social-emotional feelings: an interdisciplinary, developmental perspective. *Current Opinion in Psychology*. 2017;17:34–40. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.06.008>. EDN: YGHQRH.

16. Klimesch W. The frequency architecture of brain and brain-body oscillations: an analysis. *European Journal of Neuroscience*. 2018;48(7):2431–2453. <https://doi.org/10.1111/ejn.14192>. EDN: NFTZPL.

17. McNaughton N., Gray J. A. *The Neuropsychology of Anxiety: An enquiry into the functions of the septo-hippocampal system*. 3rd ed. Oxford: Oxford University Press; 2024. 648 p. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198843313.001.0001>

18. Michel C. M., Koenig T. EEG microstates as a tool for studying the temporal dynamics of whole-brain neuronal networks: A review. *Neuroimage*. 2018;180:577–593. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.11.062>. EDN: YENFVB.

19. Paulus M. P., Stein M. B. An insular view of anxiety. *Biological Psychiatry*. 2006;60(4):383–387. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.03.042>

20. Spielberger C. D., Reheiser E. C. *Assessment of Emotions: Anxiety, Anger, Depression, and Curiosity*. *Applied Psychology: Health and Well-Being*. 2009;1(3):271–302. <https://doi.org/10.1111/j.1758-0854.2009.01017.x>

Информация об авторах / Information about the authors:

Чанг Тху Чанг — аспирант кафедры биологии человека и биотехнических систем, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия.

Chang Thu Chan — Postgraduate Student of the Department of Human Biology and Biotechnical Systems, Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia.

trangbo189@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-0660-3569>

Звягина Наталья Васильевна — кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой биологии человека и биотехнических систем, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия.

Zvyagina Natalya Vasilievna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Human Biology and Biotechnical Systems, Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia.

n.zvyagina@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8384-0424>

Талеева Анна Ильинична — кандидат биологических наук, кафедра биологии человека и биотехнических систем, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия.

Taleeva Anna Ilyinichna — Candidate of Biological Sciences, Department of Human Biology and Biotechnical Systems, Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia.

a.taleeva@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9346-6357>

Клыков Антон Владимирович — аспирант кафедры биологии человека и биотехнических систем, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова, Архангельск, Россия.

Klykov Anton Vladimirovich — Postgraduate Student of the Department of Human Biology and Biotechnical Systems, Northern (Arctic) Federal University.

a.klikov@narfu.ru, <https://orcid.org/0009-0007-4828-7417>

Вклад авторов:

Чан Тху Чанг — сбор и обработка материалов; концепция и дизайн исследования.

Наталья Васильевна Звягина — написание текста статьи; сбор и обработка материалов; концепция и дизайн исследования; анализ полученных данных.

Анна Ильинична Талеева — написание текста статьи; анализ полученных данных.

Антон Владимирович Клыков — написание текста статьи.

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Authors' contributions:

Thu Chan Chang — data curation (collection and processing), investigation; conceptualization, study design.

Natalya Vasilievna Zvyagina — writing the original draft; data curation (collection and processing); conceptualization, study design; data analysis.

Anna Ilyinichna Taleeva — writing the original draft; data analysis.

Anton Vladimirovich Klykov — writing the original draft.

All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию: 09.02.2026;
одобрена после доработки: 04.04.2026;
принята к публикации: 05.04.2026.

The article was submitted: 09.02.2026;
approved after reviewing: 04.04.2026;
accepted for publication: 05.04.2026.