

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ / PSYCHOPHYSIOLOGY

Научная статья / Research Article

<https://doi.org/10.11621/npj.2025.0107>

УДК/UDC 159.91; 612.821

## Тревожность и нейрофизиологические маркеры: анализ с использованием мобильной ЭЭГ

А.Д. Леонтьева<sup>1,2</sup> , А.С. Зубарев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> АО «Нейрореволюция», Москва, Российская Федерация

 [leoannadm@gmail.com](mailto:leoannadm@gmail.com)

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Существует необходимость в разработке более совершенных методов диагностики и коррекции тревожности, так как в настоящее время существенное количество людей испытывает данное состояние.

**Цель.** В данной работе исследуется взаимосвязь между соотношением мощности бета- и альфа-ритмов (индекс концентрации), альфа-асимметрией в височных долях, субъективным уровнем личностной тревожности и уровнем стресса в спокойном состоянии и в условиях когнитивной нагрузки.

**Выборка.** В исследовании приняли участие 38 здоровых испытуемых в возрасте от 21 до 47 лет ( $Md = 23,0$ ,  $SD = 7,99$ , 24 женщины).

**Методы.** Для определения уровня тревожности испытуемые заполняли опросники: шкала тревожности Спилбергера — Ханина и Пенсильванский опросник беспокойства. Регистрация электрической активности мозга осуществлялась на электроэнцефалографе Neiry Headband Pro. Когнитивная нагрузка вызывается с помощью словесно-цветового теста Струпа и его модификаций. Статистическая обработка данных проводилась с использованием инструментов описательной статистики, а также анализировался коэффициент корреляции Спирмена, Т-критерий Вилкоксона.

**Результаты.** Было выявлено, что чем выше субъективные оценки тревожности, тем слабее растет индекс концентрации на этапах с когнитивными заданиями. Также при наличии в фоновом состоянии левосторонней альфа-асимметрии наблюдается увеличение субъективного уровня стресса на последующих этапах с когнитивной нагрузкой.

**Выводы.** Мобильные нейрофизиологические измерения могут быть эффективным средством для разработки методов ранней диагностики и индивидуализированного подхода в лечении тревожных расстройств.

**Ключевые слова:** тревожность, стресс, электроэнцефалография (ЭЭГ), альфа-асимметрия, альфа-ритм, бета-ритм

Для цитирования: Леонтьева, А.Д., Зубарев, А.С. (2025). Тревожность и нейрофизиологические маркеры: анализ с использованием мобильной ЭЭГ. *Национальный психологический журнал*, 20(1), 75–85. <https://doi.org/10.11621/npj.2025.0107>

## Anxiety and Neurophysiological Markers: Mobile EEG Analysis

Anna D. Leonteva<sup>1,2</sup> , Alexey S. Zubarev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Neurorevolution JSC, Moscow, Russian Federation

 [leoannadm@gmail.com](mailto:leoannadm@gmail.com)

## ABSTRACT

**Background.** There is a need to develop more advanced methods for diagnosing and correcting anxiety, as currently a significant number of people experience this condition.

**Objective.** This paper examines the relationship between the power ratio of beta and alpha rhythms (concentration index), alpha asymmetry in the temporal lobes, the subjective level of personal anxiety and stress levels in a calm state and under conditions of cognitive load.

**Study Participants.** The study involved 38 healthy subjects aged 21 to 47 years ( $Md = 23.0$ ,  $SD = 7.99$ , 24 women).

**Methods.** To determine the level of anxiety, the subjects filled out questionnaires: the Spielberger — Hanin Anxiety Scale and the Pennsylvania Anxiety Questionnaire. The electrical activity of the brain was recorded using the Neiry Headband Pro electroencephalograph. Cognitive load is induced using the Stroop verbal colour test and its modifications. Statistical data processing was carried out using descriptive statistics tools. Spearman's correlation coefficient and Wilcoxon's T-test were analyzed.

**Results.** It was found that the higher the subjective estimates of anxiety are, the weaker the concentration index increases at the stages with cognitive tasks. Also, in the presence of left-sided alpha asymmetry in the background, there is an increase in the subjective stress level at subsequent stages with cognitive load.

**Conclusions.** Mobile neurophysiological measurements can be an effective tool for the development of early diagnosis methods and an individualized approach to the treatment of anxiety disorders.

**Keywords:** anxiety, stress, electroencephalography (EEG), alpha asymmetry, alpha rhythm, beta rhythm

**For citation:** Leonteva, A.D., Zubarev, A.S. (2025). Anxiety and neurophysiological markers: mobile EEG analysis. *National Psychological Journal*, 20(1), 75–85. <https://doi.org/10.11621/npj.2025.0107>

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время многие люди испытывают тревожные состояния. Согласно социологическому исследованию (Perez-Cano et al., 2020), у 42% выборки наблюдается личностная тревожность по опроснику Спилбергера. Современные технологии, такие как мобильные устройства для записи ЭЭГ, открывают новые возможности для мониторинга и анализа нейрофизиологических коррелятов тревожности в реальном времени. Это позволяет не только улучшить диагностику, но и способствует разработке персонализированных подходов к лечению.

Существует много исследований, в которых рассматривается диагностика тревожности с помощью ЭЭГ: анализируется мощность мозговых ритмов, их соотношение, пространственное распределение (Pavlenko et al., 2009; Giannakakis, 2015; Пашков и др., 2017; Berretz et al., 2022; Bazanova et al., 2014 и др.).

Высокочастотные ритмы ЭЭГ коррелируют с возбуждением, когнитивной обработкой (Dzhebrailova et al., 2021) или эмоциональной активностью, которая в некоторых случаях может быть вызвана тревогой (Giannakakis, 2015; Pavlenko et al., 2009).

При просмотре видеороликов с отрицательной валентностью и повышенным возбуждением испытуемые демонстрируют сниженную префронтальную тета-активность, что характеризует состояние тревоги (Giannakakis, 2015). Во время индуцированного стресса (задача на кратковременную память) также наблюдается снижение активности тета-ритма в префронтальной коре (Пашков и др., 2017). Высокочастотные ритмы позволяют рабочей памяти исключать нерелевантные стимулы.

Исходя из описанных данных, у испытуемых с повышенной тревожностью отмечается повышение бета-активности, особенно высокочастотной, снижение мощности альфа- и тета-ритмов. При этом данные особенности можно обнаружить электродами по всей поверхности черепа, то есть они не имеют узкой локализации, а широко распределены в головном мозге.

Более локальная активность, отражающая степень тревожности, отражается в индексе межполушарной асимметрии альфа-ритма в лобных долях головного мозга. Повышение мощности альфа-ритма в одном полушарии говорит о тормозных процессах в этом полушарии (Bazanova et al., 2014) или о гиперактивации в противоположном.

Иногда у участников исследования с высоким уровнем тревожности отмечается преимущественно левополушарная активация, то есть правосторонняя альфа-асимметрия (Berretz et al., 2022). Авторы объясняют результаты моделью асимметричного торможения, которая постулирует, что левая префронтальная кора подавляет негативные отвлекающие факторы.

В других исследованиях обнаружена связь высокого уровня тревоги с левосторонней альфа-асимметрией (Афтанас, 2000). Тревожное состояние, определяемое по пенсильванскому опроснику беспокойства, связано с левосторонней лобной альфа-

асимметрией (Härpfer et al., 2021). Также возникающие приступы у пациентов с паническим расстройством и эпизоды тревоги у людей с социальной фобией характеризуются повышенной активностью правого полушария (Гордеев и др., 2011).

В основе данных результатов стоит несколько факторов, которые обуславливают изменения межполушарного баланса. Прежде всего важно отметить связь подкорковых структур с полушариями головного мозга, опосредуемые ими системы контроля эмоционального поведения (мотивация достижения/избегания), а также специфику тревоги, характеризующуюся наличием/отсутствием вербального компонента, степенью психоэмоционального возбуждения и валентностью эмоций (Heller et al., 2003).

Несмотря на противоречивость данных, индекс альфа-асимметрии активно используется для диагностики и даже коррекции тревожных состояний. Например, разрабатываются тренинги биологической обратной связи, направленные на увеличение амплитуды альфа-ритма в правой лобной доле относительно левой (Mennella et al., 2017).

Несмотря на многочисленные исследования в области психофизиологической диагностики тревожности, данные остаются противоречивыми, а многие процедуры исследования являются дорогостоящими и трудозатратными.

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью нашего исследования является разработка доступного метода оценки тревожности по показателям ЭЭГ с помощью мобильного устройства Neiry Headband. Качество сигнала данного устройства сопоставимо со стационарной установкой с гелевыми электродами от NVX, особенно в низких частотах (дельта-, тета- и альфа-ритм) и превосходит качество сигнала по сравнению с аналогичным портативным ЭЭГ девайсом (Kleeva et al., 2023).

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1. Выборка

В исследовании приняли участие 38 здоровых испытуемых в возрасте от 21 до 47 лет ( $Md = 23,0$ ,  $SD = 7,99$ ). Из них 14 человек (36,8%) — мужчины и 24 (63,2%) — женщины.

Респонденты были отобраны согласно следующим критериям. Участники на момент проведения эксперимента и 3 месяца до него не принимали психотропные и гормональные препараты. Респонденты также заполняли анкету, в которой указали, что не имеют психиатрических, неврологических диагнозов на данный момент, и что никогда не имели черепно-мозговых травм. Все испытуемые были правшами и имели нормальные или скорректированные до нормальных зрение и слух.

Перед началом эксперимента участники заполняли информированное добровольное согласие на участие в исследовании и на обработку персональных данных.

### 2. Получение данных

#### 2.1. Психометрическое тестирование

Для определения уровня тревожности перед началом эксперимента испытуемые заполняли опросники: шкала ситуативной и личностной тревожности Спилбергера — Ханина (State-Trait Anxiety Inventory, STAI) и Пенсильванский опросник беспокойства (Penn State Worry Questionnaire, PSWQ).

Методика Ч.Д. Спилбергера, направленная на выявление личностной и ситуативной тревожности в адаптации Ю.Л. Ханина, состоит из 20 высказываний, направленных на диагностику выраженности ситуативной тревожности, другая часть (также 20 высказываний) — на измерение тревожности как личностной черты (Габдреева и др., 2004).

Мы использовали русскоязычную версию Б.С. Алишева и М.В. Габдулхаковой Пенсильванского опросника беспокойства (Габдулхакова и др., 2020). Данная методика состоит из 16 утверждений, респонденты должны оценить свою степень согласия с ними по шкале от 1 до 5.

#### 2.2. Психофизиологический эксперимент

Во время всей психофизиологической части эксперимента с использованием ЭЭГ (Рисунок 1) испытуемым была дана единая инструкция: «Постарайтесь расслабить мышцы лба, челюсти и плеч. Оставайтесь неподвижны. Не переводите взгляд с фиксирующего креста на мониторе во время калибровки и расслабления (этапы 1 и 5). Не разговаривайте без необходимости».

Перед экспериментом проводилась калибровка устройства, фиксирующая базовое, изначальное состояние 30 с с открытыми глазами.

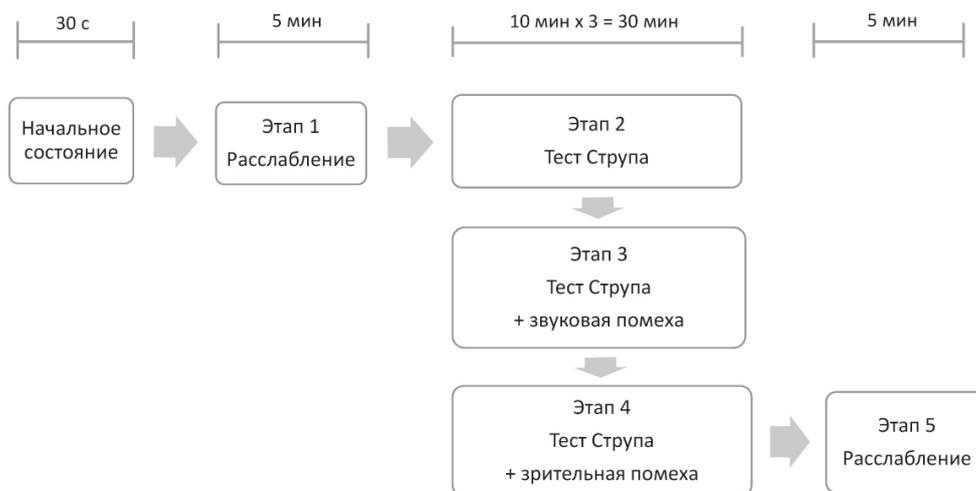


Рисунок 1

### Схема эксперимента

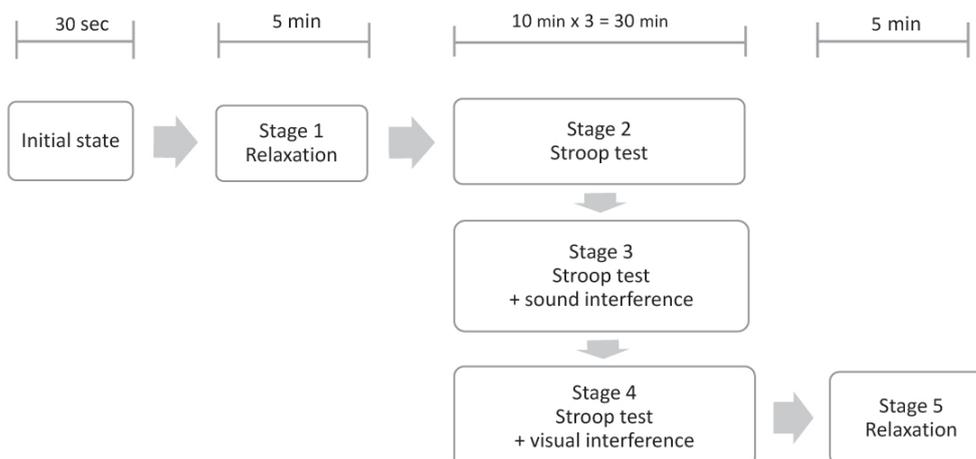


Figure 1

### Experimental design

На этапах расслабления испытуемых просили постараться расслабиться, не думать о тревожащих событиях.

В качестве основы для когнитивной нагрузки использовался классический словесно-цветовой тест Струпа, набор слов и процедура сходна с экспериментом С. Байярд (Bayard et al., 2011). Задача испытуемого была в определении цвета, которым написано слово. Отдельно в инструкции проговаривается, что необходимо, чтобы текст слова находился в поле зрения и был читаемым (чтобы исключить намеренную расфокусировку изображения для облегчения решения). Слова предъявляются на 2,5 с. Если испытуемый не успевает ответить, то автоматически засчитывается ошибка. Если испытуемый отвечает раньше, то сразу предъявляется следующее слово. В начале дается небольшой пробный период из двадцати предъявлений слов, после каждого ответа дается обратная связь о правильности и скорости ответа. В основном периоде — 300 предъявлений слов без обратной связи о правильности решения. Тест создан в программе PsychoPy 2023.2.3 (Using Python 3.8), а также предъявлялся испытуемым с помощью ее интерфейса.

Звуковая помеха заключается в проигрывании в наушниках слов, обозначающих цвета, в случайной последовательности. Слова сгенерированы с помощью программы, озвучивающей текст. Каждое слово записано в двух версиях: женским и мужским голосом. Продолжительность каждой записи 0,8–1,1 с, пауза между предъявлениями 0,2 с. Скорость предъявления рассчитана исходя из средней скорости ответов испытуемых. Таким образом, слово может проговариваться как одновременно с предъявлением изображения, так и с задержкой, что увеличивает вариативность.

Зрительная помеха: дополнительно к задаче раз в 20 слов вместо слова предъявлялось изображение военной тематики. Изображения взяты из открытых источников. Фотография предъявляется в течение 2,5 с.

После каждой задачи испытуемые отмечали субъективный уровень стресса, который испытывали во время данного этапа, по 10-балльной шкале, где 1 — отсутствие стресса, а 10 — максимальный уровень стресса.

### 2.3. Регистрация физиологических показателей

Регистрация электрической активности мозга осуществлялась на электроэнцефалографе Neiry Headband Pro монополярным способом от 4 активных электродов: O1, O2, T3, T4, расположенных по международной схеме 10–20. В качестве референтного используется электрод Fpz. Справа и слева от референтного электрода располагаются заземляющие электроды. Частота дискретизации сигнала ЭЭГ составляет 250 Гц.

Регистрация, запись и первичная предобработка данных происходит с помощью ПО Capsule 1.2.0, специально разработанного для устройств Neiry.

## 3. Обработка данных

Для анализа данных ЭЭГ использовались программное обеспечение MNE Python (Gramfort et al., 2013) и другие библиотеки Python. Фильтрация данных проводилась в диапазоне от 4 до 30 Гц с помощью фильтра ButterBandpass 4-го порядка с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) и режекторных фильтров 50, 60 Гц. Артефакты движений из данных детектировались по превышению определенного порога в обрабатываемом окне амплитуды сигнала или мощностей тета- и бета-диапазонов, а затем удалялись из расчетов.

Спектральный анализ временных рядов каждого канала выполнен методом П. Уэлча (Welch, 1967) на непересекающихся окнах длиной 10 секунд. В результате, была рассчитана спектральная плотность мощности (PSD) для диапазонов частот: тета (4–7 Гц), альфа (7–13 Гц) и бета (13–30 Гц). Из этих данных извлечены суммы значений PSD для каждого участка и каждого электрода.

Кроме того, использовалось ПО Capsule v1.2.0 для расчетов мощностей стандартных ритмов ЭЭГ.

## 4. Статистический анализ

Статистическая обработка данных проводилась с использованием инструментов описательной статистики, а также непараметрической статистики: коэффициент корреляции Спирмена, Т-критерий Вилкоксона в программе SPSS v.23.0. Диаграммы были построены с использованием Microsoft Excel v.2109.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Среднее значение шкалы ситуативной тревожности теста Спилбергера в нашей выборке  $39,1 \pm 10,42$ , что соответствует среднему уровню тревожности. Провели проверку на нормальность по одновыборочному критерию Колмогорова — Смирнова, данное распределение считается нормальным ( $\lambda = 0,094$ ,  $p = 0,200$ ). Среднее значение шкалы личностной тревоги в выборке  $46,21 \pm 9,25$ , что соответствует нижней границе высокой степени тревожности. Данное распределение также считается нормальным ( $\lambda = 0,100$ ,  $p = 0,200$ ). Пенсильванский опросник беспокойства показал среднее значение в нашем эксперименте  $39,26 \pm 14,72$ , что соответствует небольшой тревожности, ниже клинического уровня. Распределение отклоняется от нормального ( $\lambda = 0,172$ ,  $p = 0,009$ ).

Субъективный уровень стресса во время решения когнитивных задач оценивался по шкале от 1 до 10. Было выявлено, что на этапе 2 средний субъективный уровень стресса равнялся  $3,79 \pm 2,00$ , на этапе 3 =  $4,53 \pm 1,86$ , на этапе 4 =  $4,05 \pm 2,27$ . При этом наименее стрессовым для испытуемых был 2 этап (классический словесно-цветовой тест Струпа), а наиболее стрессовым 3 этап (словесно-цветовой тест Струпа в сочетании с аудиальной помехой).

Для оценки связи субъективных показателей (опросников и шкалирования стресса) был использован коэффициент корреляции Спирмена. Субъективные значения стресса по 10-балльной шкале во время когнитивной нагрузки на этапах 2 и 4 коррелируют ( $p < 0,05$ ) с результатами тестирования по шкале личностной тревожности теста Спилбергера и Пенсильванского опроса беспокойства, но не со шкалой ситуативной тревожности теста Спилбергера.

В качестве индекса концентрации было выбрано соотношение мощностей бета- и альфа-ритмов, записанного в биполярном режиме T3-O1, T4-O2 для исключения большей части артефактов и усредненного по двум биполярным каналам. Как видно из диаграммы (Рисунок 2), данный индекс выше на этапах с когнитивной нагрузкой (этапы 2–4), чем на этапе расслабления (этап 1). С помощью Т-критерия Вилкоксона мы проверили гипотезу о том, что индекс концентрации на этапах 2–5 повышается относительно этапа 1 (расслабление). Мы выявили, что на этапах с когнитивной нагрузкой данный индекс действительно повышается ( $p < 0,05$ ). При этом индекс концентрации на этапе 5 незначимо повышается относительно этапа 1 ( $p = 0,091$ ). Это говорит о том, что у части испытуемых физиологические системы смогли вернуться в прежнее состояние, а у другой части они более инертны и на последнем этапе испытуемым не удалось расслабиться в той же степени, что и на первом этапе. При этом самый высокий индекс концентрации наблюдается на этапе 2. Это может быть связано с тем, что испытуемые впервые сталкиваются с задачей или с тем, что данный этап менее вызывает стресс (основываясь на данных субъективного уровня стресса), чем остальные этапы с когнитивной нагрузкой.

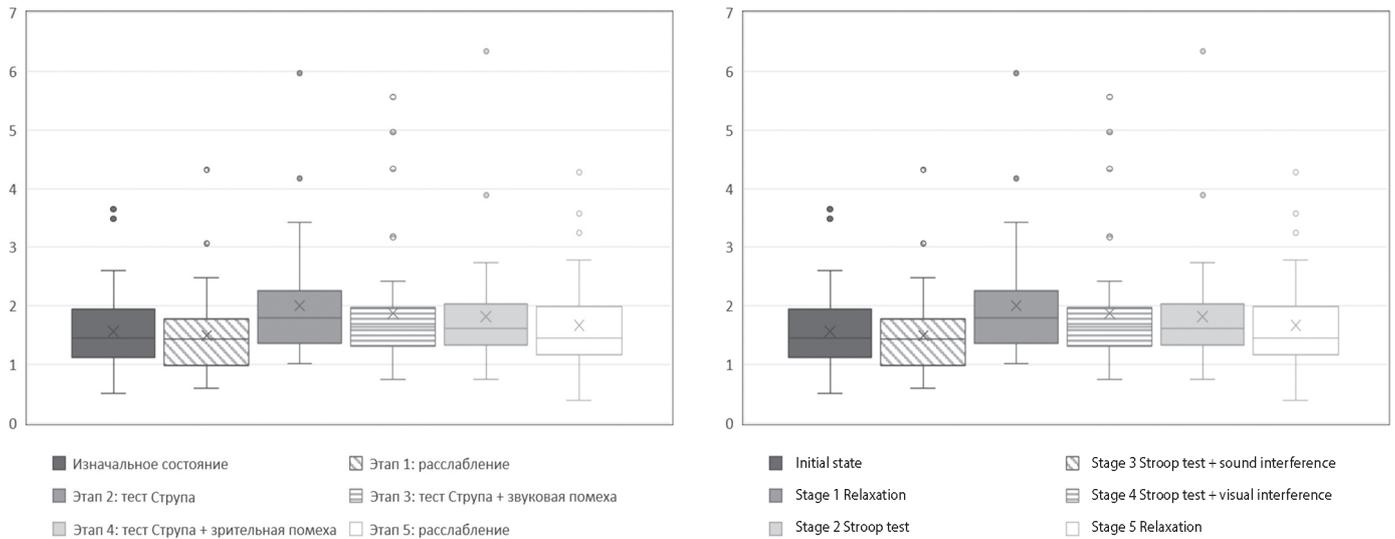


Рисунок 2

Значение индекса концентрации (бета-/альфа-ритм) на разных этапах эксперимента ( $n = 38$ ). Горизонтальными линиями указана медиана, крестами — среднее значение, точками — выбросы

Figure 2

The value of the concentration index (beta/alpha rhythm) at different stages of the experiment ( $n = 38$ ). The horizontal lines indicate the median, the crosses indicate the average value, and the dots indicate outliers

Мы провели корреляционный анализ Спирмена для изучения связи баллов по шкале личностной тревоги теста Спилбергера и уровня индекса концентрации на различных этапах исследования. Была обнаружена значимая обратная корреляция данного опросника с индексом концентрации на этапах 1 и 3 ( $p < 0,05$ ). Вместе с этим на остальных этапах исследования прослеживается обратная зависимость этих параметров, но с уровнем значимости больше 0,05. Такая зависимость говорит о тормозных процессах в мозге тревожных людей: увеличению мощности альфа- и/или снижению мощности бета-ритма.

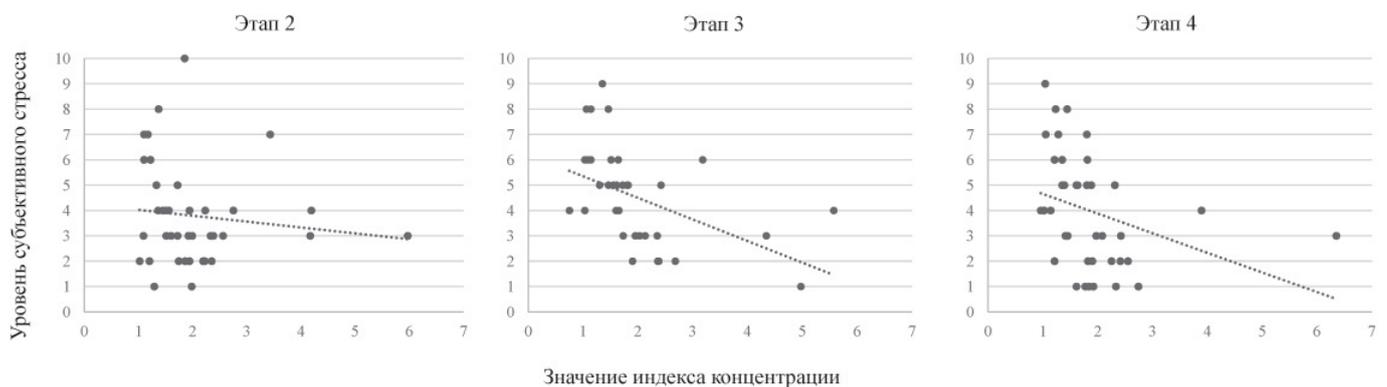


Рисунок 3

Графики распределения значения индекса концентрации (бета-/альфа-ритм) на этапах с когнитивной нагрузкой (этапы 2–4) в зависимости от уровня субъективного стресса по 10-балльной шкале на соответствующих этапах. Был проведен корреляционный анализ Спирмена между данными параметрами на этапе 2 ( $p = 0,180$ ), на этапе 3 ( $p = 0,006$ ), на этапе 4 ( $p = 0,036$ ). Пунктиром обозначена линия тренда

В качестве индекса межполушарной асимметрии мы использовали соотношение мощности альфа-ритма на электроде Т3 к мощности альфа-ритма на электроде Т4. Таким образом, положительные значения говорят о левосторонней альфа-асимметрии, а отрицательные — о правосторонней. Было обнаружено, что среднее значение данного индекса на всех этапах близко к нулю

или немного выше. То есть у наших испытуемых наблюдается отклонение мощности альфа-ритма как в левое, так и в правое полушарие примерно с одинаковой частотой. Однако, отклонения в левую сторону более сильные, часто наблюдаются выбросы. Также не было обнаружено значимых отличий между средними значениями индекса асимметрии между этапами по T-критерию Вилкоксона.

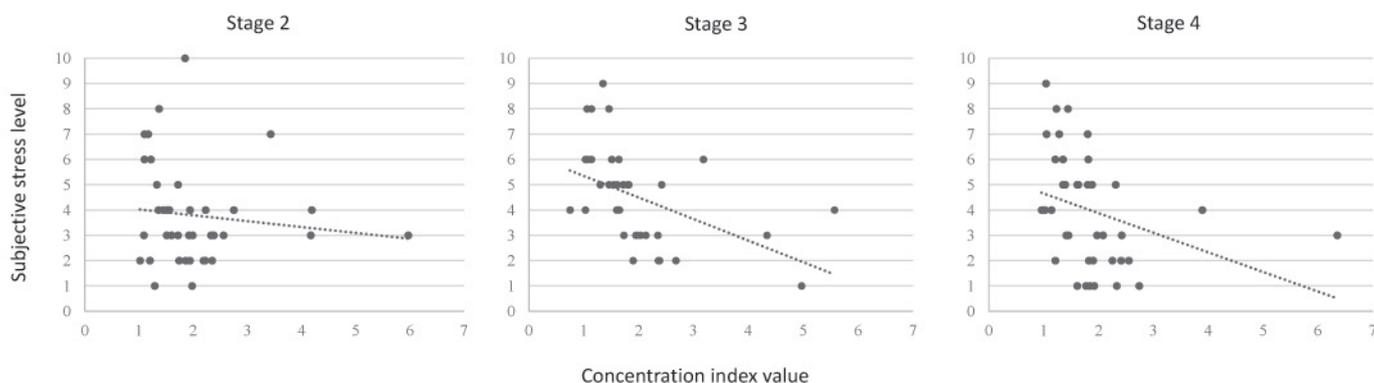


Figure 3

Graphs of the concentration index value distribution (beta/alpha rhythm) at stages with cognitive load (stages 2–4) depending on the level of subjective stress on a 10-point scale at the corresponding stages. Spearman’s correlation analysis was conducted between these parameters at stage 2 ( $p = 0.180$ ), at stage 3 ( $p = 0.006$ ), at stage 4 ( $p = 0.036$ ). The dotted line indicates the trend line

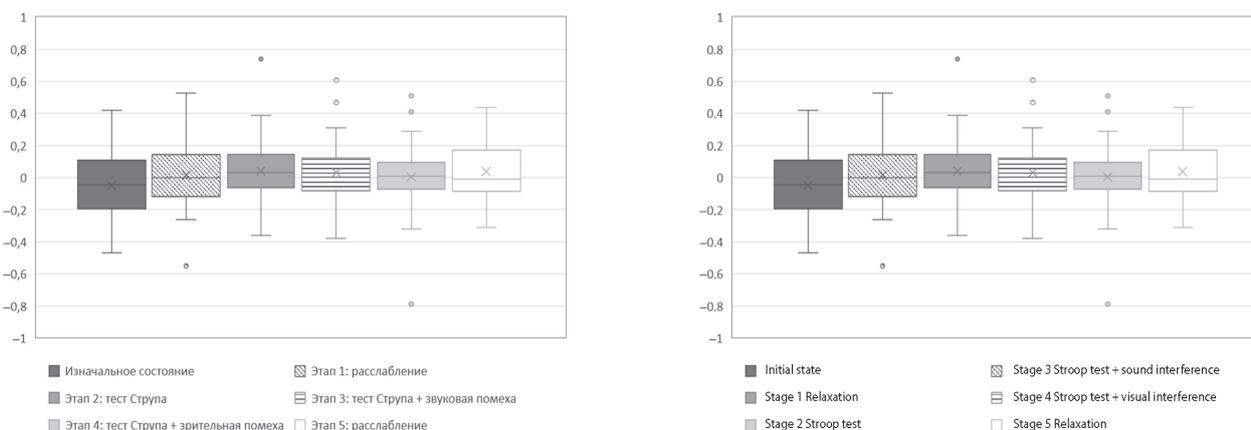


Рисунок 4

Значения индекса межполушарной альфа-асимметрии на электродах T3–T4 на различных этапах исследования ( $n = 38$ ). Горизонтальными линиями указана медиана, крестами — среднее значение, точками — выбросы

Figure 4

Values of the interhemispheric alpha asymmetry index on the T3–T4 electrodes at different stages of the study ( $n = 38$ ). The horizontal lines indicate the median, the crosses indicate the mean value, and the dots indicate outliers

С помощью корреляционного анализа Спирмена нам удалось найти связь между значением альфа-асимметрии и субъективным уровнем стресса во время решения задач. То есть при выраженности альфа-ритма на электроде T3 по сравнению с электродом T4 в фоновом режиме наблюдается более высокий стресс на этапах с когнитивной нагрузкой (этапы 2–4): в начальном состоянии  $p < 0,01$ , на этапе 1  $p < 0,05$ . При этом значения альфа-асимметрии во время решения непосредственно когнитивных задач не имеет корреляций с субъективными методами.

На диаграммах (Рисунок 5) представлено графическое отображение зависимости индекса альфа-асимметрии от уровня субъективного стресса, усредненного по всем этапам с когнитивной нагрузкой (этапы 2–4). При большем стрессе наблюдается левосторонняя асимметрия, при меньшем стрессе — правосторонняя.

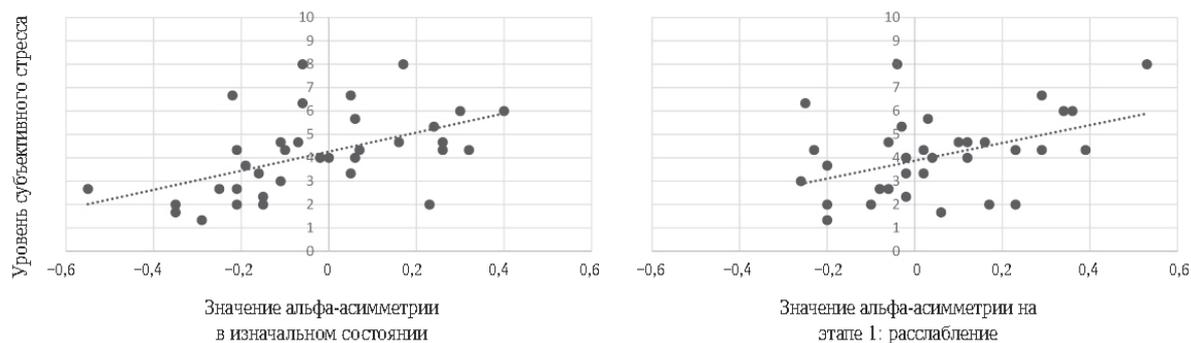


Рисунок 5

График распределения значения индекса межполушарной альфа-асимметрии на электродах Т3–Т4 в изначальном состоянии и на этапе 1 (расслабление) в зависимости от среднего уровня субъективного стресса по 10-балльной шкале на этапах 2–4 (когнитивная нагрузка). Был проведен корреляционный анализ Спирмена между данными параметрами в изначальном состоянии ( $p = 0,000$ ), на этапе 1 ( $p = 0,064$ ). Пунктиром обозначена линия тренда

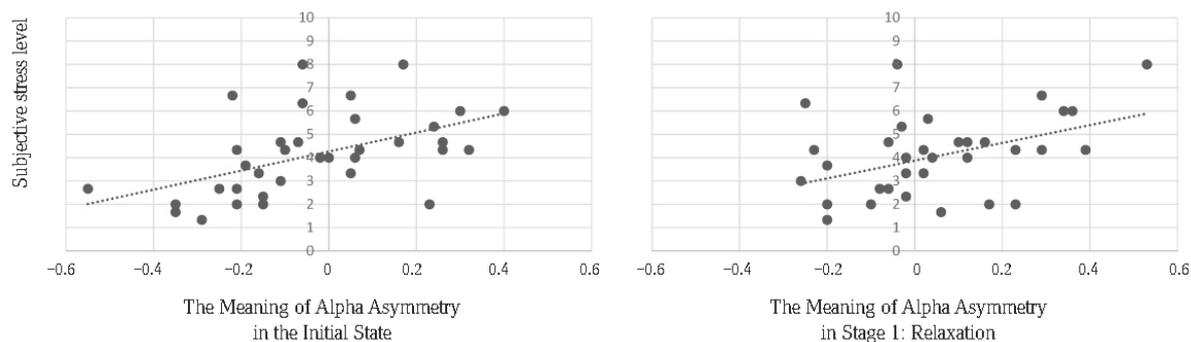


Figure 5

Graph of the distribution of the interhemispheric alpha asymmetry index value on the T3–T4 electrodes at the initial state and at stage 1 (relaxation) depending on the average level of subjective stress on a 10-point scale at stages 2–4 (cognitive load). Spearman's correlation analysis was applied to these parameters in the initial state ( $p = 0.000$ ) and at stage 1 ( $p = 0.064$ ). The dotted line indicates the trend line

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результатах нашего исследования было показано, что на этапах с когнитивной нагрузкой происходит возрастание индекса концентрации, то есть соотношения мощностей бета-/альфа-ритмов, по сравнению с 1 этапом расслабления. Множество исследований показывает угнетение амплитуды альфа-ритма и возрастание амплитуды бета-ритма при стрессе. В двух исследованиях (Alonso et al., 2015; Riera et al., 2012) когнитивный стресс вызывался словесно-цветовым тестом Струпа. Было выявлено повышение значений данного соотношения.

Также в настоящем исследовании было обнаружено, что чем выше субъективный стресс от задач испытывает человек, тем ниже индекс концентрации. Сингапурским ученым (Smitha et al., 2017) удалось обнаружить разницу в индексе концентрации при решении словесно-цветового теста Струпа у людей с разным уровнем субъективного стресса. После прохождения каждой задачи испытуемые оценивали уровень стресса: 1 — нет стресса, 2 — испытываю стресс и чувствую себя хорошо, 3 — испытываю стресс и чувствую себя плохо. У людей, отметивших отсутствие стресса, выявлен низкий индекс концентрации, у людей со средним уровнем стресса (эустресс) выявлен очень высокий индекс концентрации. У тех же респондентов, которые отметили высокий уровень стресса (дистресс), наблюдался меньший уровень концентрации во время решения задач по сравнению участниками со средним уровнем субъективного стресса. Однако в исследовании (Ehrhardt et al., 2022) изучалась реактивность альфа- и бета-ритма при решении слухового теста последовательного сложения чисел на скорость (PASAT). При повышении сложности задачи не было значимых отличий в индексе концентрации от обычного решения задачи.

В результатах мы также выявили, что индекс концентрации изменялся на этапах с когнитивной нагрузкой по-разному в зависимости от уровня тревожности испытуемых. У менее тревожных испытуемых наблюдалось сильное повышение индекса концентрации на задачах, что связано с мобилизацией ресурсов организма. У более тревожных же людей реакция оказалась более инертной и индекс поднимался незначительно или даже опускался. Эксперимент (Dzhebrailova et al., 2021) также показал, что повышенная мощность бета-2-ритма во время когнитивной нагрузки наблюдается во всех областях коры головного мозга,

что говорит об активизации произвольного внимания. Однако такая закономерность была характерна только для испытуемых с низким уровнем личностной тревожности по тесту Спилбергера.

В результате анализа данных выявлена положительная корреляция между левосторонней альфа-асимметрией на электродах Т3–Т4 в покое (изначальное состояние и этап 1) и субъективным уровнем стресса на этапах с когнитивной нагрузкой (этапы 2–4). Таким образом, альфа-асимметрия в покое может быть показателем потенциальной реакции на когнитивную нагрузку. То есть альфа-асимметрия может говорить о низкой стрессоустойчивости, тревожном предчувствии или чувствительности нервной системы.

В других исследованиях наблюдаются схожие результаты. В одном из экспериментов в качестве стресса использовался холодовой прессорный тест на стопы (Zhang et al., 2018). Он привел к значительному увеличению кортизола, сердечно-сосудистых параметров и субъективных оценок стресса после воздействия (по 100-балльной шкале). Кроме того, анализ ЭЭГ выявил увеличение мощности альфа-ритма в левом полушарии во время фоновой записи с увеличением субъективного уровня стресса. При этом показатели фронтальной асимметрии во время самого холодового теста не были прогностическими ни для физиологических реакций, ни для субъективных оценок.

Изменения в лобной альфа-асимметрии наблюдаются при когнитивном стрессе, когда активируются передние отделы правого полушария. Исследования показывают усиление местного кровотока перед экзаменами в правых лобной и передних височных областях мозга в состоянии тревоги (Афтанас, 2000). Тревожное предчувствие также связано с альфа-асимметрией в лобных областях мозга. В одном исследовании (Härpfer et al., 2021) было обнаружено, что уровень тревожности, измеренный с помощью Пенсильванского опросника беспокойства, коррелирует с альфа-асимметрией в лобной области мозга.

Многие исследования также демонстрируют связь левосторонней лобной альфа-асимметрии с расстройствами тревожного спектра: социальное тревожное расстройство, посттравматическое стрессовое расстройство, генерализованное тревожное расстройство, паническое расстройство и др. (Гордеев и др., 2011; Meyer et al., 2015; Lorberbaum et al., 2004; McClure et al., 2007).

Таким образом, большинство результатов нашего исследования соотносится с предыдущими. Также получилось разобрать некоторые противоречия, существующие в литературе. Мы выделили отдельные физиологические маркеры, отвечающие за тревожность, оптимальный стресс и высокий стресс. При оптимальном стрессе значительно увеличивается индекс концентрации во время решения когнитивных задач, в двух других состояниях — увеличение незначительное. Также высокий, неадаптивный стресс характеризуется увеличением левосторонней альфа-асимметрии.

## ВЫВОДЫ

В ходе исследования было выявлено, что при когнитивной нагрузке повышается индекс концентрации (бета/альфа соотношение) относительно фонового значения, что отражает активацию организма при выполнении заданий.

При высоком уровне тревожности по опросникам наблюдается более высокий субъективный стресс во время решения когнитивных задач. То есть тревожные люди больше подвержены стрессу, ярче его переживают.

При соотнесении субъективных и объективных (ЭЭГ) данных мы обнаружили, что чем выше тревожность испытуемых по результатам опросников, тем слабее растет индекс концентрации на этапах с когнитивными заданиями, что может быть связано с тормозной активностью коры у данной группы людей. Субъективный уровень стресса во время решения когнитивных задач также имеет обратную корреляцию с индексом концентрации во время этих же заданий. Объясняется тем, что такой уровень напряжения уже является неадаптивным, или дистрессом, что может влиять на когнитивные функции. Данный индекс реактивный и отражает состояние напряжения человека в реальном времени.

Дополнительным физиологическим показателем, отражающим уровень стрессового напряжения, можно считать альфа-асимметрию. При наличии в фоновом состоянии левосторонней альфа-асимметрии наблюдается увеличение субъективного уровня стресса на последующих этапах с когнитивной нагрузкой. Таким образом, данный фактор может предсказывать высокий уровень стресса во время когнитивной нагрузки.

Данные исследования подтверждают гипотезу о том, что мобильные нейрофизиологические измерения могут быть эффективным средством для оценки тревожности. Результаты имеют большое значение для разработки методов ранней диагностики и индивидуализированного подхода в лечении тревожных расстройств. Таким образом, исследование демонстрирует потенциал интеграции мобильных технологий в практику психологического мониторинга и вмешательства, что может значительно улучшить качество жизни людей, страдающих тревожностью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Афтанас, Д.И. (2000). Эмоциональное пространство человека. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской академии медицинских наук.

Габдреева, Г.Ш., Прохоров, А.О. (2004). Практикум по психологии состояний. Санкт-Петербург: Изд-во «Речь».

Габдулхакова, М.В. (2020). Разработка и апробация русскоязычной версии “The pennstate worry questionnaire” (PSWQ) (Пенсильванского опросника беспокойства/тревоги). Сборник материалов 14-й междунар. науч.-практич. конф. для студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей вузов (20–21 февраль, 2020 г.). (pp. 106–108). URL: <https://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/158766> (дата обращения 18.04.2024).

- Пашков, А.А., Дахтин, И.С., Харисова, Н.С. (2017). Электроэнцефалографические биомаркеры экспериментально индуцированного стресса. *Вестник Южно-Уральского государственного университета, серия «Психология»*, 10(4), 68–82. <http://doi.org/10.14529/psy170407>
- Alonso, J.F., Romero, S., Ballester, M.R., Antonijoa, R.M., Mañanas, M.Á. (2015). Stress assessment based on EEG univariate features and functional connectivity measures. *Physiological Measurement*, 36(7), 1351. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/36/7/1351>
- Bayard, S., Erkes, J., Moroni, C. (2011). Victoria Stroop Test: normative data in a sample group of older people and the study of their clinical applications in the assessment of inhibition in Alzheimer's disease. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 26(7), 653–661. <https://doi.org/10.1093/arclin/acr053>
- Bazanova, O.M., Vernon, D. (2014). Interpreting EEG alpha activity. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, (44), 94–110. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.05.007>
- Berretz, G., Packheiser, J., Wolf, O.T., Ocklenburg, S. (2022). Acute stress increases left hemispheric activity measured via changes in frontal alpha asymmetries. *Science*, 25(2), 103841. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.103841>
- Dzhebrailova, T.D., Korobeinikova, I.I., Karatygin, N.A., Biryukova, E.V., Venerina, Y.A. (2021). Dynamics of EEG spectral characteristics in subjects with various trait anxiety levels performing cognitive tests. *Human Physiology*, 47(1), 14–22. <http://doi.org/10.1134/S0362119721010035>
- Ehrhardt, N.M., Fietz, J., Kopf-Beck, J., Kappelmann, N., Brem, A.K. (2021). Separating EEG correlates of stress: Cognitive effort, time pressure, and social-evaluative threat. *European Journal of Neuroscience*, 55(9–10), 2464–2473. <https://doi.org/10.1111/ejn.15211>
- Giannakakis, G., Grigoriadis, D., Tsiknakis, M. (2015). Detection of stress/anxiety state from EEG. URL: [https://few.com/neuroreport/abstract/2004/12220/neural\\_correlates\\_of\\_speech\\_anticipatory\\_anxiety.3.aspx](https://few.com/neuroreport/abstract/2004/12220/neural_correlates_of_speech_anticipatory_anxiety.3.aspx) (accessed: 01.05.2024).
- McClure, E.B., Monk, C.S., Nelson, E.E., Parrish, J.M., Adler, A., Blair, R.J.R., Pine, D.S. (2007). Abnormal Attention Modulation of Fear Circuit Function in Pediatric Generalized Anxiety Disorder. *Archives of General Psychiatry*, 64(1), 97–106. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.64.1.97>
- Mennella, R., Patron, E., Palomba, D. (2017). Frontal alpha asymmetry neurofeedback for the reduction of negative affect and anxiety. *Behaviour Research and Therapy*, (92), 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.02.002>
- Meyer, T., Smeets, T., Giesbrecht, T., Quaedflieg, C.W., Smulders, F.T., Meijer, E.H., Merckelbach, H.L. (2015). The role of frontal EEG asymmetry in post-traumatic stress disorder. *Biological Psychology*, (108), 62–77. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.03.018>
- Pavlenko, V.B., Chernyi, S.V., Goubkina, D.G. (2009). EEG correlates of anxiety and emotional stability in adult healthy subjects. *Neurophysiology*, 41(5), 337–345. <https://doi.org/10.1007/s11062-010-9111-2>
- Perez-Cano, H.J., Moreno-Murguia, M.B., Morales-Lopez, O., Crow-Buchanan, O., English, J.A., Lozano-Alcazar, J., Somilleda-Ventura, S.A. (2020). Anxiety, depression, and stress in response to the coronavirus disease-19 pandemic. *Cirugía y Cirujanos*, 88(5), 562–568. <https://doi.org/10.24875/CIRU.20000561>
- Riera, A., Soria-Frisch, A., Albajes-Eizagirre, A., Cipresso, P., Grau, C., Dunne, S., Ruffini, G. (2012). Electro-Physiological Data Fusion for Stress Detection. *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine*, (181), 228–232. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-121-2-228>
- Smitha, K.G., Xin, N.Y., Lian, S.S., Robinson, N. (2017). Classifying subjective emotional stress response evoked by multitasking using EEG. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)* (October 5–8, 2017). (pp. 3036–3041). <https://doi.org/10.1109/SMC.2017.8123091>
- Zhang, X., Bachmann, P., Schilling, T., Naumann, E., Schächinger, H., Larra, M. (2018). Emotional stress regulation: The role of relative frontal alpha asymmetry in shaping the stress response. *Biological Psychology*, (138), 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.08.007>

## REFERENCES

- Aftanas, D.I. (2000). Human emotional space. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences. (In Russ.)
- Alonso, J.F., Romero, S., Ballester, M.R., Antonijoa, R.M., Mañanas, M.Á. (2015). Stress assessment based on EEG univariate features and functional connectivity measures. *Physiological Measurement*, 36(7), 1351. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/36/7/1351>
- Bayard, S., Erkes, J., Moroni, C. (2011). Victoria Stroop Test: normative data in a sample group of older people and the study of their clinical applications in the assessment of inhibition in Alzheimer's disease. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 26(7), 653–661. <https://doi.org/10.1093/arclin/acr053>
- Bazanova, O.M., Vernon, D. (2014). Interpreting EEG alpha activity. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, (44), 94–110. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.05.007>
- Berretz, G., Packheiser, J., Wolf, O.T., Ocklenburg, S. (2022). Acute stress increases left hemispheric activity measured via changes in frontal alpha asymmetries. *Science*, 25(2), 103841. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.103841>
- Dzhebrailova, T.D., Korobeinikova, I.I., Karatygin, N.A., Biryukova, E.V., Venerina, Y.A. (2021). Dynamics of EEG spectral characteristics in subjects with various trait anxiety levels performing cognitive tests. *Human Physiology*, 47(1), 14–22. <http://doi.org/10.1134/S0362119721010035>
- Ehrhardt, N.M., Fietz, J., Kopf-Beck, J., Kappelmann, N., Brem, A.K. (2021). Separating EEG correlates of stress: Cognitive effort, time pressure, and social-evaluative threat. *European Journal of Neuroscience*, 55(9–10), 2464–2473. <https://doi.org/10.1111/ejn.15211>
- Gabdreeva, G.Sh., Prokhorov, A.O. (2004). State Psychology Workshop. St. Petersburg: Rech Publ. (In Russ.)
- Gabdulkhakova, M.V. (2020). Development and testing of the Russian-language version of “The Penn State Worry Questionnaire” (PSWQ). Fourteenth International Scientific and Practical Conference for Students, Undergraduates, Graduate Students, Young Scientists and University Teachers (February 20–21, 2020). (pp. 106–108). (In Russ.). URL: <https://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/158766> (accessed: 18.04.2024).
- Giannakakis, G., Grigoriadis, D., Tsiknakis, M. (2015). Detection of stress/anxiety state from EEG. URL: [https://few.com/neuroreport/abstract/2004/12220/neural\\_correlates\\_of\\_speech\\_anticipatory\\_anxiety.3.aspx](https://few.com/neuroreport/abstract/2004/12220/neural_correlates_of_speech_anticipatory_anxiety.3.aspx) (accessed: 01.05.2024).
- McClure, E.B., Monk, C.S., Nelson, E.E., Parrish, J.M., Adler, A., Blair, R.J.R., Pine, D.S. (2007). Abnormal Attention Modulation of Fear Circuit Function in Pediatric Generalized Anxiety Disorder. *Archives of General Psychiatry*, 64(1), 97–106. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.64.1.97>
- Mennella, R., Patron, E., Palomba, D. (2017). Frontal alpha asymmetry neurofeedback for the reduction of negative affect and anxiety. *Behaviour Research and Therapy*, (92), 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.02.002>
- Meyer, T., Smeets, T., Giesbrecht, T., Quaedflieg, C.W., Smulders, F.T., Meijer, E.H., Merckelbach, H.L. (2015). The role of frontal EEG asymmetry in post-traumatic stress disorder. *Biological Psychology*, (108), 62–77. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.03.018>

Pashkov, A.A., Dakhtin, I.S., Kharisova, N.S. (2017). Electroencephalographic biomarkers of experimentally induced stress. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Psikhologiya = Bulletin of South Ural State University, Psychology Series*, 10(4), 68–82. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/psy170407>

Pavlenko, V.B., Chernyi, S.V., Goubkina, D.G. (2009). EEG correlates of anxiety and emotional stability in adult healthy subjects. *Neurophysiology*, 41(5), 337–345. <https://doi.org/10.1007/s11062-010-9111-2>

Perez-Cano, H.J., Moreno-Murguía, M.B., Morales-Lopez, O., Crow-Buchanan, O., English, J.A., Lozano-Alcazar, J., Somilleda-Ventura, S.A. (2020). Anxiety, depression, and stress in response to the coronavirus disease-19 pandemic. *Cirugía y Cirujanos*, 88(5), 562–568. <https://doi.org/10.24875/CIRU.20000561>

Riera, A., Soria-Frisch, A., Albajes-Eizagirre, A., Cipresso, P., Grau, C., Dunne, S., Ruffini, G. (2012). Electro-Physiological Data Fusion for Stress Detection. *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine*, (181), 228–232. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-121-2-228>

Smitha, K.G., Xin, N.Y., Lian, S.S., Robinson, N. (2017). Classifying subjective emotional stress response evoked by multitasking using EEG. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)* (October 5–8, 2017). (pp. 3036–3041). <https://doi.org/10.1109/SMC.2017.8123091>

Zhang, X., Bachmann, P., Schilling, T., Naumann, E., Schächinger, H., Lara, M. (2018). Emotional stress regulation: The role of relative frontal alpha asymmetry in shaping the stress response. *Biological Psychology*, (138), 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.08.007>

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS



**Анна Дмитриевна  
Леонтьева**

**Anna D. Leonteva**

Специалитет, кафедра клинической психофизиологии факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова; младший нейрофизиолог АО «Нейрореволюция», Москва, Российская Федерация, [leoannadm@gmail.com](mailto:leoannadm@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0009-7940-6022>

Specialist Degree, Department of Clinical Psychophysiology, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University; Junior Neurophysiologist, Neurorevolution JSC, Moscow, Russian Federation, [leoannadm@gmail.com](mailto:leoannadm@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0009-7940-6022>



**Алексей Сергеевич  
Зубарев**

**Alexey S. Zubarev**

Студент кафедры вычислительной математики механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова; аналитик данных, АО «Нейрореволюция», Москва, Российская Федерация, [scz.aleksey@gmail.com](mailto:scz.aleksey@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0009-4580-8138>

Undergraduate Student, Department of Computational Mathematics, Faculty of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University; Data Analyst, Neurorevolution JSC, Moscow, Russian Federation, [scz.aleksey@gmail.com](mailto:scz.aleksey@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0009-4580-8138>

Поступила: 19.08.2024; получена после доработки:  
12.11.2024; принята в печать: 20.12.2024.

Received: 19.08.2024; revised:  
12.11.2024; accepted: 20.12.2024.