

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПЕРВЫЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И. М. СЕЧЕНОВА МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (СЕЧЕНОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

На правах рукописи

УДК 612.821

Венерина Яна Андреевна

**Физиологические корреляты тревожности при когнитивной
деятельности**

03.03.01 – физиология

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

доктор биологических наук Джебраилова Тамара Джебраиловна

Москва – 2021

Оглавление

Список сокращений	3
Введение	4
Глава 1. Обзор литературы	14
1.1. Общие представления о тревожности.....	14
1.2. Электроэнцефалографические корреляты тревожности.....	21
1.3. Характеристики показателей variability сердечного ритма и тревожность.....	32
1.4. Гуморальные показатели в аспекте тревожности	36
1.5. Заключение.....	44
Глава 2. Материалы и методы	47
2.1. Регистрация и анализ ЭЭГ при выполнении теста на концентрацию и скорость переключения внимания у испытуемых с разным уровнем тревожности (1 серия).....	47
2.2. Регистрация и анализ ЭЭГ, ВСР и оценка гуморальных показателей слюны при выполнении теста на рабочую память у испытуемых с разным уровнем тревожности (2 серия).....	50
2.3. Статистическая обработка	56
Глава 3. Характеристики ЭЭГ у испытуемых с разной личностной тревожностью при когнитивной деятельности	57
3.1. Динамика спектральной мощности потенциалов основных диапазонов ЭЭГ у лиц с разной личностной тревожностью при когнитивной деятельности	58
3.2. Динамика когерентности потенциалов тета диапазона ЭЭГ при когнитивной деятельности у испытуемых с разной личностной тревожностью	68
Глава 4. Характеристика гуморальных показателей слюны параметров ЭЭГ и variability сердечного ритма у испытуемых с разным уровнем тревожности при когнитивной деятельности.	80
4.1. Гуморальные корреляты тревожности при когнитивной деятельности	81
4.2. Взаимосвязь спектральных характеристик ЭЭГ и показателей гормонального баланса при когнитивной деятельности с учетом фактора тревожности	87

4.3. Взаимосвязь характеристик variability сердечного ритма и показателей гормонального баланса при когнитивной деятельности с учетом фактора тревожности	99
Глава 5. Обсуждение.....	104
Заключение.....	119
Выводы	123
Список используемой литературы	123

Список сокращений

- CV – коэффициент вариации полного массива кардиоинтервалов;
HF (мс²) – мощность спектра высокочастотного компонента (0,15–0,4 Гц);
LF (мс²) – мощность спектра низкочастотного компонента (0,04–0,15 Гц);
LF/HF – индекс вагосимпатического взаимодействия;
RR(мс) – средняя длительность R-R-интервалов;
SDNN (мс) – стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов;
s-IgA – секреторный иммуноглобулин А;
TP (мс²) – суммарная мощность спектра (0,003–0,40 Гц);
VLF (мс²) – мощность спектра очень низкочастотного компонента (0,015-0,04 Гц)
АД – артериальное давление;
АКТГ – адренотропный гормон;
BCP – вариабельность сердечного ритма;
ГАМК – гамма-аминомасляная кислота;
ГГН-ось – гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая ось;
ГР – глюкокортикоидные рецепторы;
ДГЭА – дегидроэпиандростерон;
ДГЭА-с – дегидроэпиандростерон-сульфат;
ЗГ – закрытые глаза;
ИФА – иммуноферментный анализ;
КК – коэффициент когерентности;
ЛТ – личностная тревожность;
МР – минералокортикоидные рецепторы;
ОГ – открытые глаза;
ПСР – простая сенсомоторная реакция;
ССР – сложная сенсомоторная реакция;
СТ – ситуативная тревожность;
ЦНС – центральная нервная система;
ЧСС – частота сердечных сокращений;
ЭЭГ – электроэнцефалограмма

Введение

Актуальность темы исследования

Поведение человека в условиях мотивационно-эмоционального напряжения может принимать две основные формы: достижение конечной цели через преодоление («совладание»), либо избегание сопутствующего эмоционального напряжения («психологическая защита») [Котов А.В., 2006; Guyon A.J.A.A. et al., 2020]. Формирование той или иной формы поведения конкретного индивида связано с соотношением активности двух, выделяемых в настоящее время, базовых мотивационных систем мозга – достижения (положительного подкрепления) и оборонительной (аверсивной), инициирующих каскады когнитивных, эмоциональных, висцеральных реакций [Lang P.J., Bradley M.M. 2010; Афтанас Л.И. с соавт., 2013]. С активностью аверсивной мотивационной системы ассоциируется представление о тревожности, как особой форме оборонительного поведения, тормозящего ориентировочно-исследовательскую деятельность человека [Данилова Н.Н. с соавт., 1995].

Учитывая ключевую роль мотивации в выборе субъектом определенной линии поведения и, соответственно, его физиологического обеспечения [Анохин П.К., 1968; Судаков К.В., 2008], представляемое исследование направлено на выявление взаимосвязей между выраженностью тревожного компонента спектра мотивационной активности человека и особенностями физиологического обеспечения когнитивной деятельности.

Тревожность, как черта личности, означает мотив или приобретенную поведенческую диспозицию, которая предрасполагает индивида к восприятию широкого круга объективно безопасных обстоятельств как содержащих угрозу, побуждая реагировать на них тревожными состояниями, интенсивность которых не соответствует величине объективной опасности [Spielberger C.D. et al., 1995; Хеккаузен Х., 2003].

Тревожность личностная ситуационно трансформируется в актуальное состояние тревожности (ситуативная тревожность). Тревожность рассматривается

как комплексный феномен, характеризующийся специфическими когнитивными, аффективными и соматическими реакциями [Афтанас Л.И., Павлов С.В., 2005], как необходимый компонент адаптационных процессов, направленных на мобилизацию ресурсов организма в потенциально опасной ситуации [Астапов В.М., Гасилина А.Н., 2011; Weger M., Sandi S., 2018]. Неадекватно высокая тревожность может приводить к дезадаптации и дезорганизации поведения [Астапов В.М., Гасилина А.Н., 2011] и способствовать развитию у человека тревожных расстройств и психосоматических заболеваний, число которых во многих странах увеличивается [Вербицкий Е.В., 2013]. Выявлено влияние личностной тревожности на ухудшение психического и физического здоровья, а также на развитие синдрома эмоционального выгорания у студентов [Глазачев О.С., 2011]. Показана взаимосвязь успешности обучения с личностной [Дегтярев В.П., Торшин В.И., 2010] и ситуативной [Лапкин М.М. с соавт., 2014] тревожностью студентов. Как известно, субъективные состояния способствуют реализации поведения, направленного на достижение цели [Юматов Е.А., 2017]. Важная роль тревожности, как одного из факторов, детерминирующих особенности поведения и его результативность, в том числе и при когнитивной деятельности [Хеккаузен Х., 2003, Астапов В.М., Гасилина А.Н., 2011; Судаков С.К., 2019; Клименко Т.В. с соавт., 2019], а также влияющих на развитие и течение широкого круга заболеваний определяет актуальность исследования физиологических и гормональных коррелятов тревожности человека.

В целом можно считать установленным, что зависимость между эффективностью деятельности, в том числе и когнитивной, и уровнем тревожности в соответствие с законом Йеркса-Додсона описывается инвертированной "U"-образной кривой, когда максимальная эффективность соответствует некоторому среднему или оптимальному уровню тревожности [Хеккаузен Х., 2003]. С другой стороны, известно, что люди с повышенной тревожностью не обязательно менее успешны и способны повысить качество решения поведенческих задач за счет усиления произвольного контроля над

вниманием, при этом они вынуждены затрачивать на выполнение заданий больше усилий, чем низкотревожные [Eysenck M.W. et al., 2007].

Характерным признаком высокой личностной тревожности является избирательное усиление внимания к стимулам, представляющих потенциальную угрозу [Derryberry D., Reed M.A., 2000], и связанной с этим активностью системы торможения текущего поведения [Gray J.A., McNaughton N. 2000; Knyazev G.G., et al., 2016]. Можно полагать, что одним из факторов, определяющих различия эффективности когнитивной деятельности и особенности ее физиологического обеспечения в зависимости от уровня тревожности, является именно перераспределение ресурсов внимания. В литературе приводятся сведения о том, что тревожность может снижать эффективность контроля внимания в ситуации, требующей перераспределения когнитивных ресурсов [Jaiswal S. et al. 2019], негативно влияет на эффективность переработки информации при выполнении сложных задач на внимание, таких как ингибирование или переключение [Ward R.T. et al. 2018]. Исходя из этого в представляемой работе анализировались физиологические механизмы обеспечения когнитивной деятельности при выполнении тестов на внимание, рабочую память и когнитивную гибкость.

Одним из продуктивных методов исследования организации когнитивной деятельности является анализ спектрально-когерентных характеристик ЭЭГ. Представляемая работа направлена на выявление специфических особенностей характеристик биопотенциалов основных диапазонов ЭЭГ у индивидов с разной тревожностью в процессе когнитивной деятельности. Следует отметить, что в литературе приводятся достаточно противоречивые данные о взаимосвязи фактора тревожности с характеристиками ЭЭГ. При изучении межполушарных ЭЭГ-асимметрий в основных частотных диапазонах установлено, что высокотревожные испытуемые, по сравнению с контрольной группой, обнаруживали большие значения тета1- и бета1-мощности в теменно-височных областях коры правого полушария [Афтанас Л.И. Павлов С.В. 2005]. По результатам другого исследования, характерное для студентов с высокой

тревожностью в обычные учебные дни присутствие дельта- и тета-волн наблюдалось на ЭЭГ левой лобной области коры [Трушина Д.А. с соавт., 2016]. С одной стороны, обнаружено, что у высокотревожных студентов наблюдалась меньшая амплитуда альфа- и тета-ритмов в лобно-височных областях в период, предшествующий выполнению теста [Cheremushkin E.A. et al., 2018]. С другой, отмечается, что у высокотревожных испытуемых в исходном состоянии активность альфа-ритма выше, чем при выполнении тестовой задачи [Ward R.T. et al., 2018], а фронтально-медиальный тета-ритм предлагается рассматривать как неотъемлемую составляющую состояния тревоги у человека [Sperl M.F.J. et al., 2019]. Однако, уже достаточно давно усиление тета ритма на ЭЭГ животных и человека рассматривается как электрофизиологический маркер состояния напряжения и готовности к деятельности, ориентировочной реакции, ассоциируется с компонентами таких когнитивных процессов, как внимание и память [Шумилина А.И., 1990; Basar E., et al., 2001; Sauseng P, et al., 2009; Мачинская Р.И с соавт., 2016]. Приводятся данные о связи тревожности с выраженностью дельта колебаний ЭЭГ разных областей коры [Кныазев G.G., 2012; Джебраилова Т.Д. с соавт., 2014].

Механизмы вегетативной регуляции также играют важную роль в реализации когнитивной деятельности, обеспечивая мобилизацию физиологических ресурсов и их восстановление, при этом особое значение имеет активация неспецифических стресс-реализующих и стресс-лимитирующих систем [Данилова Н.Н., Крылова А.Л., 2005; Зорин Р.А. с соавт., 2019]. Для оценки активности вегетативной нервной системы, в том числе и в аспекте изучения тревожности, часто используют анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР). В частности, показано, что у испытуемых в состоянии эмоционального напряжения [Melillo P. et al., 2011; Kemp et al., 2012; Бахчина А.В. с соавт., 2018] или повышенной тревожности [Alvares G.A. et al., 2013; Муртазина Е.П. с соавт., 2019; Liu Y. et al., 2019] снижается вариабельность сердечного ритма, что отражает смещение вегетативного баланса в сторону преобладания

симпатических влияний на деятельность сердца [Graziano P., Derefinko K., 2013; Дорохов Е.В. с соавт., 2013; Paniccia M. et al., 2017]. Однако наряду с этим есть данные о положительной корреляционной связи между высокочастотной спектральной составляющей ВСР, отражающей вагусные влияния, и уровнем тревожности [Jönsson. P. 2007; Shinba T., 2017].

Важная роль в формировании тревожных состояний принадлежит гормонам. В литературе приводятся сведения о том, что личностная тревожность оказывает модулирующее влияние на секрецию кортизола при выполнении тестовых заданий предположительно в связи с большей активностью оси гипоталамус-гипофиз-кора надпочечников у индивидов с высокой тревожностью [Schlotz W. et al., 2006; Weger M., Sandi S., 2018]. Однако результаты других исследований не подтвердили наличие взаимосвязи между тревожностью, секрецией кортизола и выполнением когнитивного теста [Pearman A. et al., 2020]. В литературе имеются сведения о том, что испытуемые с высокой личностной тревожностью демонстрировали меньший гуморальный ответ (повышение секреции кортизола) в ситуации ментального стресса, чем испытуемые с низкой тревожностью [Jezova D. et al., 2004]. Помимо кортизола наиболее часто приводятся сведения о взаимосвязи тревожности при целенаправленной деятельности и таких гуморальных факторов, как дегидроэпиандростерон-сульфат (ДГЭА-с), тестостерон [Mchenry J. et al., 2014; Casto K.V., Edwards D.A., 2016; и др.] и секреторный иммуноглобулин А (s-IgA) [Paracosta E. et al., 2016]. Причем данные о характере такой взаимосвязи весьма противоречивы.

Такое разнообразие литературных данных свидетельствует о том, что вопрос поиска объективных физиологических коррелятов уровня тревожности при когнитивной деятельности далек от своего решения.

Одной из возможных причин противоречивости литературных данных, на наш взгляд, является тот факт, что во многих исследованиях сопоставляются результаты обследования только высоко и низкотревожных индивидуумов. В то же время, известно, что, как правило, наибольшая эффективность когнитивной

деятельности ассоциируется со средним (оптимальным) уровнем тревожности [Хеккаузен Х., 2003]. Исходя из этих представлений, в нашем исследовании были выделены три группы испытуемых: с низкой, средней и высокой тревожностью.

Цель исследования:

Выявить физиологические особенности обеспечения когнитивной деятельности у индивидов с разным уровнем тревожности.

Задачи:

1. Выявить особенности динамики спектральных характеристик ЭЭГ при выполнении теста на концентрацию и скорость переключения внимания у испытуемых с разным уровнем тревожности;

2. На основе когерентного анализа ЭЭГ провести исследование функциональных корковых связей при выполнении теста на концентрацию и скорость переключения внимания у испытуемых с разным уровнем тревожности;

3. На основе анализа концентрации гормонов в слюне выявить особенности гуморальных механизмов обеспечения деятельности при тестировании когнитивной гибкости (тест Струпа) у индивидов с разным уровнем тревожности;

4. Выявить особенности взаимосвязи гуморальных показателей и спектральных характеристик ЭЭГ при тестировании когнитивной гибкости (тест Струпа) у испытуемых с разным уровнем тревожности;

5. Выявить особенности соотношения гуморальных показателей и характеристик variability сердечного ритма при тестировании когнитивной гибкости у испытуемых с разным уровнем тревожности.

Научная новизна работы

Впервые показано, что поддержание произвольного внимания у испытуемых с разной личностной тревожностью при достижении одинакового результата ассоциировано с разной степенью вовлеченности нейронных сетей, осциллирующих в тета₁- и бета₂-диапазонах ЭЭГ. Если у испытуемых с низкой и

средней личностной тревожностью активация прозаического внимания была связана с увеличением мощности потенциалов как тета1-, так и бета2-диапазонов ЭЭГ большинства областей коры, то у индивидов с высокой тревожностью при увеличении мощности тета1-диапазона не наблюдалось роста мощности бета2-потенциалов ЭЭГ большинства областей коры.

Впервые выявлены особенности перестройки функциональных взаимосвязей корковых зон, вовлеченных в поддержание внимания на этапах когнитивной деятельности в зависимости от фактора личностной тревожности. При этом наибольшая лабильность структуры когерентных взаимосвязей в тета1-диапазоне ЭЭГ наблюдалась у испытуемых со средним уровнем личностной тревожности, а наименьшая – у индивидов с высокой тревожностью.

Впервые обнаружены особенности соотношения исходной концентрации гормонов в слюне, исходных характеристик ЭЭГ и динамики показателей сердечного ритма при тестировании когнитивной гибкости у испытуемых со средним уровнем личностной тревожности. У испытуемых со средней ЛТ в исходном состоянии при закрытых глазах соотношение мощности потенциалов бета2/дельта диапазонов было выше, чем у испытуемых как с низкой ЛТ, так и с высокой ЛТ (на ЭЭГ центральных и правой височной областей коры). В исходном состоянии наблюдалось более высокое, чем у испытуемых других групп, соотношение содержания ДГЭА-с/кортизол в слюне, обусловленное меньшим, чем у испытуемых с высокой ЛТ, содержанием кортизола, а также большим, чем у индивидов с низкой ЛТ, содержанием ДГЭА-с. У этих же испытуемых во время выполнения теста, наряду с уменьшением длительности R-R-интервалов ЭКГ, наблюдалось увеличение CV.

Теоретическое и практическое значение работы

Полученные результаты позволяют сформулировать перспективную в плане дальнейших исследований гипотезу о том, что высокая лабильность межцентральных взаимоотношений является одним из факторов, способствующих достижению высокого результата у индивидов со средней

тревожностью при когнитивной деятельности в осложненных ситуациях, требующих перераспределения когнитивных ресурсов.

Практическая значимость результатов связана с выявлением характерной для индивидов с высокой тревожностью инертности структуры когерентных взаимосвязей, отражающей низкую лабильность межцентральных взаимоотношений, которая может способствовать формированию застойных стационарных состояний и лежать в основе снижения адаптационных возможностей и результативности когнитивной деятельности у индивидов с высокой тревожностью в усложненных, прежде всего, стрессорных ситуациях.

Основные положения, выносимые на защиту:

У испытуемых с разной тревожностью наблюдается специфика интеграции физиологических механизмов обеспечения когнитивной деятельности даже при достижении одинакового результата когнитивных тестов.

У индивидов с разной личностной тревожностью достижение одинакового результата при тестировании внимания осуществляется при разной степени вовлечения нейрокогнитивных сетей, осциллирующих в тета1-, альфа- и бета2-диапазонах ЭЭГ.

Наиболее высокая лабильность структуры когерентных взаимосвязей потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ на этапах когнитивной деятельности наблюдается у испытуемых со средним, а наименьшая – с высоким уровнем личностной тревожности.

Испытуемые с разной личностной тревожностью различаются по соотношению мощности бета2/дельта диапазонов ЭЭГ, зарегистрированной в исходном состоянии при закрытых глазах. Наиболее высокие значения бета2/дельта характерны для индивидов со средней личностной тревожностью.

У испытуемых со средней личностной тревожностью в исходном состоянии преобладают антиглюкокортикоидные влияния, что выражается в большем значении соотношения ДГЭА-с/кортизол по сравнению с низко и высоко

тревожными испытуемыми. У высокотревожными испытуемых преобладает глюкокортикоидная активность.

Особенности динамики спектральных-когерентных показателей ЭЭГ, характеристик сердечного ритма и гуморальных показателей отражают преобладание оборонительного или ориентировочно-исследовательского компонентов в спектре мотивационной активности у испытуемых с разным уровнем тревожности в процессе когнитивной деятельности.

Публикации

По результатам работы опубликовано 7 печатных работ, 3 из которых в журналах из списка ВАК, 2 – в базе данных Scopus.

Апробация работы

Материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на совместном заседании кафедры нормальной физиологии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) и лаборатории общей физиологии функциональных систем НИИНФ им. П.К. Анохина (2021); 43-й и 44-й Итоговых научных сессиях НИИНФ им. П.К. Анохина "Системная организация физиологических функций" (Москва, 2018, 2019), заседании кафедры биологической химии Первого МГМУ И.М. Сеченова (Сеченовский университет) (Москва, 2019), а также на II Научно-практической конференции с международным участием "Путь в науку", Первый МГМУ И.М. Сеченова (Сеченовский университет) (Москва, 2018).

Личный вклад автора

Все экспериментальные данные получены лично автором или при его непосредственном участии. Поиск литературы по теме исследования, обработка электроэнцефалограмм, взятие проб слюны и проведение иммуноферментного анализа, статистическая обработка результатов, подготовка рукописи были проведены автором работы. Обобщение и анализ результатов, подготовка публикаций по теме исследования выполнялась автором работы при участии научного руководителя.

Объем и структура диссертации

Диссертационная работа изложена на 156 страницах печатного текста, включает 10 рисунков и 24 таблицы. Работа включает в себя следующие разделы: «Введение», «Обзор литературы», «Методика», две главы описания результатов, «Обсуждение», «Заключение», «Выводы». Список литературы включает 283 источников, из них 107 отечественных и 176 зарубежных.

Глава 1. Обзор литературы

1.1. Общие представления о тревожности

Взаимное влияние все более усложняющихся условий окружающей среды и жизнедеятельности человека приводят к модификации активности нашего организма как на генетическом, так и на поведенческом уровне, способствуя реализации адаптивных механизмов, направленных на обеспечение выживания. В современных условиях большого объема информационного потока серьезную роль играет способность индивида к оценке и правильной интерпретации поступающей информации. Особенное значение данная способность приобретает в ситуации стресса, при необходимости быстро и корректно распознать опасность и предпринять необходимые для совладания с ней меры, которые выражаются в мобилизации ресурсов организма и реализации адаптивных стратегий поведения.

Поведение человека в условиях мотивационно-эмоционального напряжения может принимать две основные формы: достижение конечной цели через преодоление («совладание»), либо избегание сопутствующего эмоционального напряжения («психологическая защита») [Котов А.В., 2006; Guyon A.J.A.A. et al., 2020]. Формирование той или иной формы поведения конкретного индивида связано с соотношением активности двух, выделяемых в настоящее время, базовых мотивационных систем мозга – достижения (положительного подкрепления) и оборонительной (аверсивной), инициирующих каскады когнитивных, эмоциональных, висцеральных реакций [Lang P.J., Bradley M.M. 2010; Афтанас Л.И. с соавт., 2013]. С активностью аверсивной мотивационной системы ассоциируется представление о тревожности, как особой форме оборонительного поведения, тормозящего ориентировочно-исследовательскую деятельность человека [Данилова Н.Н. с соавт., 1995].

В современной литературе для описания состояния тревоги используется два базовых термина – собственно «тревога» и «тревожность». Зачастую авторы используют эти термины как синонимы, однако в ряде исследований

подчеркивается, что несмотря на взаимосвязь двух этих понятий, они несут в себе разную смысловую нагрузку [Астапов В.М., Гасилина А.Н., 2011; Соловьева С.Л., 2012; Нехорошкова А.Н. с соавт., 2014]. Под тревогой понимают негативное эмоциональное состояние, характеризующееся ощущением напряжения и ожиданием неблагоприятного исхода текущей ситуации [Астапов В.М., Гасилина А.Н., 2011]. В ряде работ тревога описывается как предрасположенность индивида переживать неопределенность, недостаточную информированность об условиях среды как ситуацию, сопряженную с возможной опасностью [Lazarus R.S., 1991, 1993; Salvador A. et al., 2003]. Считается, что состояние тревоги является пусковым механизмом для процессов адаптации [Астапов В.М., 1999], направленным на мобилизацию ресурсов организма для совладания с угрозой [Калуев А.В., 1998]. В концепции биологического стресса Г. Селье термин «тревога» используется для описания первой стадии адаптационного процесса [Селье Г., 1982].

В соответствии с биологической теорией эмоцией, сформулированной П.К. Анохиным, рассогласование между полученным входе деятельности результатом и акцептором действия «ведет немедленно к беспокойству животных и человека и к поискам иной комбинации эффекторных возбуждений, которые привели бы к формированию полноценного периферического акта, и, следовательно, к полноценной эмоции удовлетворения» [Анохин П.К., 1963]. Дальнейшее изучения механизмов эмоций привело к пониманию, что эмоции непрерывно присутствуют на этапах деятельности, мобилизуя организм на удовлетворение ведущих потребностей [Анохин П.К., 1975]. Отрицательные эмоции, присутствующие на стадии афферентного синтеза отражают неуверенность индивида в успешном достижении результата или предвидение им нежелательных ситуаций при достижении цели [Юматов Е.А., 2019]. В частности, показано, что «низкая вероятность избегания нежелательного воздействия породит у субъекта тревогу» [Симонов П.В., 1981].

В свою очередь, тревожность рассматривается как склонность индивида воспринимать различные условия среды как угрожающие и реагировать на них усилением состояния тревоги [Астапов В.М., Гасилина А.Н., 2011]. Также встречается определение тревожности как «склонности индивида к переживанию тревоги, характеризующаяся низким порогом возникновения реакции тревоги» [Петровский А.В., Ярошевский М.Г., 1990].

Согласно традиционным представлениям, выделяют две формы тревожности – личностную и ситуативную [Spielberger C.D., Smith L.H. et al., 1966]. Личностная тревожность рассматривается как устойчивая черта личности, предрасполагающая индивида к восприятию объективно безопасных условий среды как потенциально угрожающих [Spielberger C.D. et al., 1966; 1972; Ю.Л. Ханин, 1978]. Личностная тревожность ситуационно трансформируется в актуальное состояние тревожности (ситуативная тревожность).

Изучение влияния тревоги на эффективность деятельности позволило выделить две ее основные функции: сигнализирующую (охранительную) и стимулирующую (мотивационную). [Мэй Р., 2001; Нехорошкова А.Н. с соавт., 2014]. Сигнализирующая функция тревоги реализуется в смещении фокуса внимания индивида на угрожающие элементы среды и запуске адаптационных механизмов. При этом мотивационная функция тревоги заключается в усилении поведенческой активности и мобилизации резервов организма, что способствует достижению наилучших результатов [Мэй Р., 2001; Прихожан А.М., 2007; Нехорошкова А.Н. с соавт., 2014]. Согласно ряду исследований, в простых для индивида ситуациях тревога способствует высокой эффективности деятельности [Прихожан А.М., 2007], в то время как в ситуациях, требующих перераспределения когнитивных ресурсов [Jaiswal S. et al. 2019], в том числе при выполнении сложных задач на внимание, таких как ингибирование или переключение [Ward R.T. et al. 2018], тревога негативно влияет на эффективность переработки информации и может приводить к дезадаптации. Установлено, что

существующая зависимость между уровнем тревожности и эффективностью деятельности является частным случаем закона Йеркса-Додсона и может быть описана инвертированной «U» - образной кривой, согласно которой максимальная эффективность соответствует оптимальному уровню тревожности [Хекхаузен Х., 2003]. Показано, что низкотревожные испытуемые лучше выступают в тестовых условиях, вызывающих у них повышение уровня ситуативной тревожности, в то время как для высокотревожных испытуемых наиболее благоприятными для решения интеллектуальных задач являются спокойные условия [Депутат И.С. с соавт., 2019]. Таким образом, оптимальный уровень тревоги рассматривается как фактор, необходимый для эффективной адаптации и совладания со стрессовой ситуацией [Прихожан А.М., 2007].

Чрезмерно высокий уровень тревожности, интенсивность которого не соответствует реальной сложности ситуации подавляет поведенческую активность и ведет к дезорганизации поведения [Прихожан А.М., 2007; Астапов В.М., Гасилина А.Н., 2011; Нехорошкова А.Н. с соавт., 2014; Уварова М.Ю., Кедярова Е.А., 2014]. Отмечено, что высокий уровень тревожности способствует развитию у человека ряда нервно-психических расстройств, в том числе и психосоматических заболеваний [Свидерская Н.Е. с соавт., 2001; Вербицкий Е.В., 2013]. Кроме того, высокий уровень тревожности способствует развитию синдрома эмоционального выгорания у студентов [Глазачев О.С., 2011]. В рамках изучения влияния тревожности на эффективность когнитивной деятельности отмечено, что личностная тревожность, наряду с доминирующей мотивацией и индивидуально-типологическими характеристиками, является фактором, детерминирующим, организацию поведения студентов при обучении [Дегтярев В.П., Торшин В.И., 2010]. В частности, показано, что высокая личностная тревожность сочетается с высоким уровнем выраженности процессов торможения, низким уровнем выраженности процессов возбуждения и подвижности нервных процессов, а также низкой результативностью при

осуществлении учебной деятельности [Лапкин М.М. с соавт., 2009]. Согласно описанному закону Йеркса-Додсона, высокий уровень тревожности способствует повышению исходного уровня возбуждения, приводя к превышению уровня оптимума мотивации и как следствие снижению результативности интеллектуальной деятельности, в условиях, приводящих к усилению возбуждения [Депутат И.С. с соавт., 2019].

С другой стороны, известно, что люди с повышенной тревожностью не обязательно менее успешны в решении поведенческих задач. Высоотревожные индивиды способны повысить качество решения поведенческих задач за счет усиления произвольного контроля над вниманием, при этом они вынуждены затрачивать на выполнение заданий больше усилий, чем низкотревожные [Eysenck M.W. et al., 2007]. В свою очередь, полное отсутствие тревоги рассматривается как негативное явление, препятствующее адаптации и эффективной деятельности [Прихожан А.М., 2007].

На сегодняшний день нейрофизиологические и нейрохимические механизмы тревожности представляются достаточно изученными. Установлено, что состояние тревожности реализуется при участии образований лимбической системы. Лимбическая система представляет собой филогенетически древние отделы переднего мозга и включает в себя ряд корковых (гиппокамп, парагиппокампальная извилина, поясная извилина, обонятельные луковицы и бугорки, орбитофронтальная, островковая и частично височная кора) и подкорковых структур (миндалины, септальные ядра, переднее ядро таламуса, преоптическая область, гипоталамус, мамиллярные тела) [Lopes da Silva F.H. et al., 1990; Davidson R.J., Irwin W., 1999; Вербицкий Е.В., 2017]. Обозначенные структуры вносят свой вклад в формирование тревожности, находясь в сложном взаимодействии как друг с другом, так и с другими отделами мозга, однако детальный анализ этих взаимодействий не является целью настоящего обзора. Тем не менее, важно отметить, что основная роль в формировании состояния

тревоги отводится амигдаллярному комплексу [Sharp В.М., 2017; Судаков С.К., 2019]. Активность ядер амигдаллярного комплекса контролируется корой, в частности, префронтальной корой (ПФК) [Абрамец И.И. с соавт., 2019]. Показано, что у пациентов с расстройствами тревожного спектра снижена активность вентромедиальной ПФК и повышена активность дорсальной передней поясной коры (ППК) [Pizzagalli D.A., 2011; Абрамец И.И. с соавт., 2019]. Также все чаще встречаются данные об участии опорного ядра терминального тяжа (BNST) в генезе тревожности в связи с его вовлеченностью в активацию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси [Dong H.W. et al., 2001; Судаков С.К., 2019], а также тесным взаимодействием с базолатеральным ядром миндалины [Davis M. et al., 2010; Цветков Е.А. с соавт., 2015; Абрамец И.И. с соавт., 2019]. В частности, показано, что функциональное взаимодействие между миндалиной и BNST положительно коррелирует с уровнем личностной тревожности [Brinkman L. et al., 2018].

В качестве возможных нейрохимических механизмов тревожности приводится активность различных нейромедиаторных систем. В ряде исследований показана роль серотониновой системы в генезе тревожных расстройств. В частности, установлено, что изменение активности гена, кодирующего белок-транспортёр серотонина положительно связано с уровнем тревожности [Рогаев Е.И., Боринская С.А., 2000; Нехорошкова А.Н., Большевидцева И.Л., 2016; Gottschalk M.G., Domschke K., 2017]. В то же время, встречаются данные относительно участия дофамина в формировании состояния тревоги. Показано, что снижение уровня дофамина приводило к повышению уровня тревожности у крыс [Ахмадеев А.В., Калимуллина Л.Б., 2011; Нехорошкова А.Н., Большевидцева И.Л., 2016]. Также выявлена зависимость между связывающей способностью дофаминовых рецепторов D2-типа ПФК и активностью амигдаллярного комплекса и других структур лимбической системы у испытуемых при просматривании изображений негативной валентности [Kobiella

A. et al., 2010; Прошин А.Т. с соавт., 2018]. В рамках разработки ГАМК-бензодиазепиновой теории, возникновение чрезмерной тревожной реакции связывают со снижением активности ГАМК-ергических рецепторов [Raffety B.D. et al., 1997; Литвинцев С.В. с соавт., 2007]. Кроме того, в исследованиях на животных было выявлено, что в результате подавления ГАМК-ергической регуляции уменьшаются ингибиторные влияния на нейроны базолатерального отдела миндалины, вследствие чего происходит их гиперактивация, ведущая к формированию состояния тревожности [Prager E.M. et al., 2016; Brinkman L. et al., 2018; Судаков С.К., 2019]. Ряд исследователей указывает, также на важность катехоламинергического компонента в генезе тревоги. Как известно, голубое пятно ствола мозга, содержащее большое количество норадренергических нейронов, имеет обширные проекции в разные отделы мозга [Daviu N. et al., 2019]. В 2017 году научная группа McCall смогла продемонстрировать активацию базолатерального отдела миндалины при стимуляции норадренергических волокон голубого пятна [McCall et al., 2015; Daviu N. et al., 2019]. Таким образом, было установлено, что в стрессовой ситуации, создающей условия для повышения уровня ситуативной тревожности, норадренергические волокна голубого пятна активируют базолатеральный отдел миндалины, воздействуя на β -адренорецепторы [Siuda et al., 2015; Daviu N. et al., 2019]. Также, стимуляция нейронов голубого пятна в состоянии тревоги приводит к активации симпатoadреналовой системы [Распопова Н.И., 2018]. При рассмотрении роли гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы в формировании тревоги, обращает на себя внимание тот факт, что повышенный уровень кортизола приводит к нарушению синтеза серотонина и норадреналина, что провоцирует их дефицит, создавая условия для развития расстройств тревожного спектра [Узбеков М.Г., 2005; Нехорошкова А.Н., Большевидцева И.Л., 2016].

Как известно, в основе нейрохимических механизмов эмоциональных состояний, в том числе и тревожности, лежит реорганизация метаболизма

нейронов так называемых эмоциогенных зон мозга, определяющая формирование отрицательного эмоционального состояния, и запускающая весь комплекс соматовегетативных проявлений эмоциональных реакций. [Юматов Е.А., 2017]. Таким образом, межструктурные взаимодействия на уровне лимбической системы, нейромедиаторная активность, а также активация гипоталамо-гипофизарной системы, сопровождающие состояние тревоги, проявляются как в изменении биоэлектрической активности мозга, так и на уровне вегетативной и гуморальной регуляции деятельности индивида, являясь неотъемлемой частью процессов адаптации. В связи с этим особый интерес представляет рассмотрение различных коррелятов тревожности.

1.2. Электроэнцефалографические корреляты тревожности

Для оценки суммарной биоэлектрической активности мозга применяют спектральный и когерентный анализ. Спектральный анализ позволяет с использованием преобразования Фурье разложить ЭЭГ на частотные составляющие и оценить вклад каждого ритмического диапазона в осуществление текущего поведения.

Согласно современным взглядам на формирование и развитие ритмической активности мозга, онтогенез ритмов ЭЭГ происходит от преобладания низкочастотных осцилляций на ранних этапах развития с постепенным переходом к преобладанию высокочастотных ритмов [MacLean, 1990; Князев Г.Г. с соавт., 2004, 2012; Кустубаева А.М., 2012; Демин Д.Б., 2017; Чегодаев Д.А. с соавт., 2019]. С этой концепцией хорошо согласуются положения системно-эволюционного подхода, сформулированного на базе теории функциональных систем П.К. Анохина. Согласно этому подходу, реорганизация динамической функциональной системы сопровождается повышением уровня физиологической активации организма человека [Зотов М.В., 2011; Хомская Е.Д., 1965] и увеличением вклада низкодифференцированных систем, сформированных на ранних этапах онтогенеза, в обеспечение поведения [Александров Ю.И. с соавт.,

2017]. Поведение, реализуемое, преимущественно, за счет актуализации ранних систем будет характеризоваться активацией гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой и симпатoadреналовой осей, снижением коркового контроля, увеличением активности амигдаллярного комплекса и большей эмоциональностью, чем поведение, в обеспечении которого вовлекаются высокодифференцированные системы, сформированные на более поздних этапах развития [Александров Ю.И. с соавт., 2017].

Анализ ритмической активности мозга с точки зрения системного подхода дает основания сопоставить переход от низкочастотной активности к высокочастотной с процессом усложнения взаимодействия индивида со средой и увеличением вклада высокодифференцированных систем в обеспечение поведения [Кустубаева А.М., 2012]. Можно предположить, что увеличение спектральной мощности низкочастотной активности в ЭЭГ испытуемых в ситуациях, научения, стресса, эмоционального напряжения отражает увеличение вклада низкодифференцированных систем в обеспечение поведения. Активация гипоталамо-гипофизарной системы влияет на взаимодействия между подкорковыми структурами и корой больших полушарий, что отражается в биоэлектрической активности мозга [Нехорошкова А.Н., Большевидцева И.Л., 2016]. Показано, что по мере нарастания эмоционального напряжения и увеличения уровня тревожности, у испытуемых возрастает представительство низкочастотных ритмов ЭЭГ [Лапин И.А., Алфимова М.В., 2014; Мачинская Р.И., 2015; Трушина Д.А. с соавт., 2016].

Корково-корковые взаимодействия областей мозга в различных функциональных состояниях позволяет оценить коэффициент когерентности, который отражает синхронизацию электрических сигналов разных участков коры. Учитывая сопряженность электрической и функциональной активности мозга, принято рассматривать синхронную активность как проявление функциональной

связи между исследуемыми областями коры [Разумникова О.М., 2004b; Siegel M. et al., 2012].

Согласно современным данным, ритмическое взаимодействие различных участков коры осуществляется с учетом удаленности этих участков друг от друга. В частности, локальное взаимодействие между группами нейронов отражается в синхронизации областей коры в диапазонах высокочастотных ритмов, а дистантная кооперация мозговых структур отражается в синхронизации низкочастотных диапазонов [Von Stein A., Sarntein J., 2000; Изнак А.Ф. с соавт., 2018; Афтанас Л.И. с соавт., 2013].

Спектральные характеристики дельта-ритма и тревожность

Дельта-активность – медленноволновая ритмическая составляющая ЭЭГ человека с частотой от 0,5 до 3,5 Гц. Показано, что в диапазоне дельта-ритма осциллируют филогенетически древние нейрональные системы [Князев Г.Г. с соавт., 2009], хотя однозначных данных относительно источника дельта-ритма пока не представлено. Можно считать установленным, что в период сна источником дельта-осцилляций являются непосредственно нейроны коры [Steriade et al., 1993b; Knyazev G.G., 2007]. Также отмечается роль таламических восходящих холинергических [Steriade et al., 1993a; Knyazev G.G., 2007] и стволовых влияний [Hayashi K. et al., 2015] в генерации медленноволновой активности коры. Также, источники дельта-ритма были обнаружены в различных субкортикальных структурах, в частности, в стволе мозга [Lambertz M., Langhorst P., 1998; Knyazev G.G., 2007], прилежащем ядре [Leung L.S., Yim C.Y., 1993; Knyazev G.G., 2007], и покрышке мозга [Grace A., 1995; Knyazev G.G., 2007]. Известно, что синхронизация нейронов ствола мозга, вовлечённых в регуляцию деятельности сердечно-сосудистой, дыхательной и моторной систем осуществляется на частоте дельта-ритма [Lambertz M. et al. 2000; Knyazev G.G., 2012].

Изменения спектральной мощности дельта-ритма ЭЭГ связывают с осуществлением сложных когнитивных, мотивационных и эмоциональных процессов [Zarjam P. et al., 2011; Трушина Д. А. с соавт., 2016; Knyazev G.G., et al. 2016; Poppelaars E.S. et al. 2018]. Также показано, что дельта-ритм может участвовать в синхронизации мозговой активности и вегетативных функций [Knyazev G.G., 2012; Афтанас Л.И. с соавт., 2014]. В частности, отмечается отрицательная связь мощности дельта-ритма с центральными симпатическими влияниями [Charloux A. et al., 2002; Афтанас Л.И. с соавт., 2014]. Однако есть основания полагать, что корковый дельта-ритм не оказывает непосредственных влияний на вегетативную регуляцию, но на центральном уровне отражает происходящие на периферии вегетативные изменения [Lambertz M., Langhorst P., 1998; Knyazev G.G., 2012; Афтанас Л.И. с соавт., 2014].

Особый интерес представляют данные о связи тревожности и дельта-ритма ЭЭГ. Согласно данным Г.Г. Князева ЭЭГ-паттерны тревожности возраст-специфичны: генез тревоги в детском возрасте в большей степени связан с активностью лимбической системы, в то же время во взрослом возрасте тревожность связана с активацией лобных долей [Князев Г.Г. с соавт., 2004]. В связи с этим, есть основания рассматривать дельта-активность в качестве маркера тревожности [Кустубаева А.М., 2012]. В литературе есть данные, свидетельствующие в пользу этого утверждения. У лиц с низким уровнем тревожности отмечается снижение мощности дельта-ритма в задневисочных и затылочных областях при выполнении ими теста Струпа [Jaiswal S. et al. 2019]. В то же время у высокотревожных испытуемых показано нарастание спектральной мощности дельта-ритма в лобных долях с парциальным доминированием левого полушария в ситуации экзамена [Трушина Д. А. соавт., 2016]. Также, при экспериментальном моделировании панических состояний у испытуемых было зарегистрировано увеличение вклада дельта-ритма в мозговую активность [Knott V.J., Lapierre Y.D., 1988; Knyazev G.G., 2012]. Наряду с этим одним из интересных

возможных маркеров тревожности является связывание (coupling) медленных и быстрых осцилляций ЭЭГ [Knyazev G.G. et al., 2005]. Показано, что в ситуациях тревоги наряду со спектральной мощностью дельта-ритма, нарастает и дельта-бета корреляция [Knyazev G.G., 2011]. В литературе есть данные о связи спектральной мощности дельта- и бета- диапазонов с уровнем стероидных гормонов кортизолом и тестостероном [Schutter D.J., van Honk J., 2004; Knyazev G.G., 2011]. В исследованиях *Schutter u Van Honk* была показана связь между уровнем ситуативной тревожности и корреляцией дельта-ритма с высокочастотными осцилляциями: дельта-бета корреляция была выше у испытуемых с высоким содержанием кортизола в слюне [Schutter D.J., van Honk J., 2005; Poole K.L., Schmidt L.A., 2019], а после введения им тестостерона она достоверно снижалась [Schutter D.J., van Honk J., 2004, 2005; Knyazev G.G., 2011]. Снижение дельта-бета корреляции после введения испытуемым тестостерона авторы связывают с его антиглюкокортикоидным и анксиолитическим эффектом [Viau, 2002; Knyazev G.G., 2011]. Есть основания полагать, что амплитудно-амплитудная дельта-бета корреляция опосредует взаимодействие между субкортикальными (дельта) и кортикальными (бета) регионами коры в анксиогенных ситуациях [Knyazev G.G., 2011; Пашков А.А. с соавт., 2017]. В работе *Кустубаевой А.М.* преобладание низкочастотного дельта-ритма и его взаимодействие с высокочастотным бета-ритмом оценивается как смещение баланса между низкодифференцированными и высокодифференцированными структурами в сторону первых, что может опосредовать повышение уровня тревожности [Кустубаева А.М., 2012].

Спектрально-когерентные характеристики тета-ритма и тревожность

Тета-ритм относится к медленноволновой активности, регистрирующейся в диапазоне от 4 до 7 Гц. В качестве источников тета-осцилляций указывают дорсальную переднюю цингулятную кору, медиальную префронтальную кору, а

также амигдаллярный комплекс и гиппокамп систему [Buzsáki G., 2002; Mitchell D.J. et al., 2008; Афтанас Л.И. с соавт., 2014]. Важно отметить, что активность этих структур ассоциирована с регуляцией кардиоваскулярной реактивности в ситуациях стресса [Jennings J. R., Heim A. F., 2012; Афтанас Л.И. с соавт., 2014]. Однако, представленные на этот счет данные противоречивы. Так в работах *П.В. Симонова* отмечается увеличение спектральной мощности тета-ритма наряду с возрастанием частоты сердечных сокращений в ситуации эмоционального напряжения [Симонов П.В., 1981]. В то же время, показана положительная связь спектральной мощности тета-ритма с интенсивностью эмоционального переживания и отрицательная с реактивностью артериального давления [Афтанас Л.И. с соавт., 2014]. В исследованиях с использованием транскраниальной стимуляции показано, что кратковременная стимуляция тета-вспышками правой лобно-височной зоны коры увеличивает вариабельность сердечного ритма, однако при индуцированном состоянии тревоги эффект стимуляции на показатели ВСР, обусловленные вагусными влияниями ослабевает [Porra T. et al., 2020]. Таким образом, направление изменений кардиоваскулярной реактивности в ситуации эмоционального напряжения зависит как от природы провоцирующих тревогу факторов (особенно при лабораторных исследованиях), так и от индивидуальных особенностей испытуемого [Porra T. et al., 2020].

Большой интерес при рассмотрении тета-активности в аспекте тревожности представляет теория внимания *Peterson S.E.* и *Posner M.I.*, согласно которой выделяют системы поддержания бдительности, ориентированного внимания и исполнительного контроля [Peterson S.E., Posner M.I., 2012]. Системы поддержания бдительности и ориентированного внимания связаны с активностью фронтальных и теменных зон коры головного мозга, сопровождающейся осцилляциями тета-диапазона [Каратыгин Н.А. с соавт., 2021]. Есть основания полагать, что описываемое смещение фокуса внимания в сторону угрожающего фактора среды в состоянии тревоги обеспечивается активностью этих систем.

Также в последнее время внимание исследователей обращено к роли медиальной септальной области (МСО) в генерации гиппокампального тета-ритма. Показано, что нейронная активность МСО изменяется под действием стволовых влияний, повышая или уменьшая выраженность гиппокампальных тета-осцилляций [Vertes R.P., Kocsis B., 1997; Мысин Е.И., Попова И.Ю., 2019]. Развиваются представления о роли пейсмейкерной активности МСО как возможного механизма синхронизации структур лимбической системы на частоте тета-ритма [Young C.K., McNaughton N., 2009; Федотова И.Р., Фролов А.А., 2015]. В этой связи большой интерес представляют данные о синхронизации активности медиальной ПФК и дорзального гиппокампа на частоте тета-ритма при поведении животных, связанном с тревогой [Adhikari et al., 2010; Федотова И.Р., Фролов А.А., 2015]. Также в большом количестве работ отдельно выделяют срединный тета-ритм, источником которого считают переднюю цингулярную кору, являющейся частью медиальной ПФК [Mueller E.M. et al. 2014b; Sperl M.F.J. et al., 2019]. Показано, что активность медиальной ПФК сопряжена с ситуациями, в которых испытуемый прогнозирует невозможность достижения результата или неблагоприятные последствия своих действий [Ridderinkhof K.R. et al., 2004; Мачинская Р.И., 2015]. Интересно отметить, что описанные условия соотносятся с одним из определений тревоги как ощущением напряжения и ожиданием неблагоприятного исхода текущей ситуации [Астапов В.М., Гасилина А.Н., 2011]. В то же время снижение спектральной мощности срединного тета-ритма сопровождается склонностью индивида к импульсивному поведению, связанному с риском [Pedroni A. et al., 2017; Zhang D., Du R., 2018]. Согласно ряду исследований срединный фронтальный тета-ритм является неотъемлемой составляющей состояния тревоги и страха не только у животных [Likhtik E., Gordon J.A., 2014], но и у человека [Mueller et al. 2014a, 2014b; Cavanagh J.F., Shackman A.J., 2015; Sperl M.F.J. et al., 2019] и связан с контролем конфликтного поведения [Cavanagh J.F., Shackman A.J. 2015; Jaiswal S. et al. 2019]. В исследованиях на мышах отмечалось увеличение синхронизации активности

миндалины и префронтальной коры в тета-диапазоне при моделировании ситуации острого стресса [Narayanan V. et al., 2011; Sperl M.F.J. et al., 2019]. Также показано, что у тревожных испытуемых представительство тета-ритма в передней цингулярной и орбитофронтальной коре выше по сравнению с низкотревожными испытуемыми [Jaiswal S. et al. 2019; Мачинская Р.И., 2015].

Как известно, активность нейронов медиальной ПФК играет роль в оценке степени контролируемости стрессора [Пашков А.А. с соавт., 2017]. В работах *Мачинской Р.И.* указывается на усиление степени функционального взаимодействия между дорзо- и вентролатеральными зонами префронтальной коры по тета-ритму в ситуации неопределённости [Мачинская Р.И., 2015], что согласуется с данными об увеличении спектральной мощности тета-ритма в состоянии тревожности, которое принято рассматривать, в частности, и как состояние, сопряжённое с недостаточной информированностью об условиях среды. Таким образом, установлено, что увеличение спектральной мощности срединного фронтального тета-ритма рассматривается как отражение неспецифического напряжения ресурсов внимания в ситуации необходимости удержания значимой информации [Мачинская Р.И. с соавт., 2016].

Данные анализа когерентных взаимоотношений в диапазоне тета-ритма, в целом, согласуются с обозначенными выше представлениями. Так, в исследованиях на животных показано увеличение когерентности между дорсальным и вентральным отделами гиппокампа, а также инфралимбическим отделом медиальной ПФК в анксиогенных условиях [Lesting J. et al., 2013]. Согласно клиническим данным, у пациентов с большим тревожным расстройством отмечался высокий коэффициент когерентности тета-диапазона в срединных фронтальных областях в фоновом состоянии [Xing M. et al., 2017; Al-Ezzi A. et al., 2020]. Также у пациентов с расстройством аутистического спектра при сопутствующем тревожном расстройстве имеет место повышение

внутриполушарной когерентности между лобными и затылочными зонами на частоте тета-ритма [Saunders A. et al., 2016; Schoenberg P.L.A., 2020].

В то же время в ряде исследований отмечается снижение межполушарных функциональных взаимодействий во фронтальных отделах коры и внутриполушарных взаимодействий в височных отделах коры головного мозга при увеличении относительной мощности тета-активности у испытуемых с высоким уровнем тревожности [Guerrero F. R. et al., 2001; Hanaoka et al., 2005; Грибанов А.В. с соавт., 2013]. Также у высокотревожных испытуемых в фоновом состоянии показан низкий уровень внутриполушарных функциональных взаимодействий между медиальной ПФК, правой задней цингулярной и ретроспленальной корой на частоте тета-ритма [Imperatori C. et al., 2019; Schoenberg P.L.A., 2020]. В этой связи интересны данные *Безруких М.М.*, полученные при исследовании динамики когерентных взаимосвязей между областями мозга на начальных этапах формирования нового моторного навыка. Согласно этой работе, снижение внутриполушарных и межполушарных взаимодействий на этапе подготовки к осуществлению несформированной деятельности может рассматриваться как условие, обеспечивающее достаточное количество степеней свободы, необходимое для адаптации в ситуации затруднения выбора адекватной моторной задачи [Безруких М.М. с соавт. 2009]. Сопоставление этих данных с показателями когерентности в диапазоне тета-ритма у испытуемых с высоким уровнем тревожности дает основания предположить, что снижение меж- и внутриполушарных взаимодействий также обеспечивает необходимое количество степеней свободы для эффективной адаптации в ситуации неопределенности, являющейся анксиогенной.

Спектральные характеристики альфа-ритма и тревожность

Альфа-активность – наиболее часто встречающаяся ритмическая составляющая ЭЭГ человека в виде волн синусоидальной формы с устойчивым градиентом нарастания по амплитуде и частотой от 8 до 13 Гц [Базанова О.М.,

2009; Павлова Л.П., 2017]. Альфа-ритм хорошо выражен в затылочно-теменных областях мозга, особенно в состоянии покоя и при закрытых глазах, но в то же время он может встречаться и в соматосенсорной, и в слуховой, и в ассоциативной коре [Sadaghiani S, Kleinschmidt A., 2016]. Согласно современным представлениям, источником альфа-осцилляций является последовательность процессов торможения и возбуждения постсинаптических потенциалов пирамидных нейронах, зависящих от кортико-таламо-кортикальных [Hughes S.W., Crunelli V., 2005; Базанова О.М., 2009] и таламо-ретикулярных влияний [Buzsáki G. et al., 2007; Базанова О.М., 2009].

Считается, что десинхронизация альфа-ритма связана с активацией мозга и процессами переработки информации, в то время как синхронизация отражает, преимущественно реализацию механизма избирательного тормозного контроля, направленного на торможение процессов, нерелевантных текущей задаче [Klimesch W. et al., 2007; Bazanova O.M., Vernon D., 2013; Афтанас Л.И. с соавт., 2014; Новикова С.И., 2015].

По данным литературы у испытуемых с высоким уровнем личностной тревожности отмечается меньший фронто-окципитальный градиент амплитуды альфа-ритма [Вербицкий Е.В., 2013, 2019]. Также, показано, что связь между уровнем личностной тревожности и спектральной мощностью альфа-ритма опосредуется ситуативной тревожностью [Князев Г.Г. с соавт., 2009] и выражается в увеличении мощности альфа-ритма у тревожных испытуемых в обстоятельствах, способствующих возникновению тревоги [Князев Г.Г. с соавт., 2009]. Кроме того, в исследованиях *Ward* и соавторов у высокотревожных испытуемых отмечается более высокая активность альфа-ритма во время отдыха по сравнению с выполнением задачи, в то время как у низкотревожных испытуемых изменения мощности альфа-ритма в исходном состоянии и при выполнении задачи не обнаруживаются [Ward R.T. et al. 2018]. Этот паттерн нейрональной активности, видимо, отражает недостаточность ресурсов для

обеспечения необходимого уровня внимания при осуществлении деятельности у испытуемых с высоким уровнем личностной тревожности [Ward R.T. et al. 2018; Cheremushkin E.A. et al. 2018]. При этом сила реципрокной связи между альфа- и дельта-системами не зависела от экспериментальной ситуации, и была выше у тревожных испытуемых на всех этапах обследования [Князев Г.Г. с соавт., 2009]. Согласно эволюционной интерпретации ритмов ЭЭГ, функциональное значение альфа-активности заключается в тормозном контроле над эволюционно более древними мотивационными процессами, связанными с дельта-ритмом [Князев Г.Г. с соавт., 2009]. Таким образом, можно предположить, что увеличение тормозного контроля свойственно лицам с высоким уровнем тревожности [Князев Г.Г. с соавт., 2009].

В то же время, по данным клинических исследований снижение амплитуды альфа-ритма в лобно-височных отделах коры правого полушария ассоциировано с увеличением уровня активации коры [Mathersul D., et al., 2008; Cheremushkin E.A. et al. 2018] и усилением кровотока в венстромедиальной префронтальной коре правого полушария, повышающей активность гипоталамо-гипофизарно-адреналовой оси [Tian X., et al., 2016; Cheremushkin E.A. et al. 2018], что является характерным для высокотревожных испытуемых [Cheremushkin et al. E.A. 2018]. В то же время показано, что более высокая активность альфа-ритма в префронтальной коре, лобно-центральных, центральных и центрально-париетальных отделах головного мозга у испытуемых с низким уровнем тревожности ассоциирована с лучшей нисходящей регуляцией когнитивных функций и как следствие более высокой эффективностью деятельности [Klimesch W., 1999; Jaiswal S. et al. 2019].

Спектральные характеристики бета-ритма и тревожность

Бета-ритм – низкоамплитудная, высокочастотная ритмическая составляющая ЭЭГ человека в диапазоне от 14 до 30 Гц, распространенная во всех областях мозга [Чувилев Н.В., 2006]. Считается, что высокочастотная

составляющая ЭЭГ связана синхронизацией активности пейсмейкерных нейронов локальных сетей [Данилова Н.Н., 2006]. Рост синхронизации активности в бета-диапазоне связывают с процессами распознавания образов, рабочей памятью и интенсивной когнитивной деятельностью [Wang X.J., 2010; Palva S., et al., 2011].

При анализе бета-активности в аспекте тревожности обращают на себя внимание данные относительно увеличения активности бета-осцилляций в правых передней височной и латеральной префронтальной областях коры в состоянии тревоги [Кустубаева А.М., 2012; Кичук И.В. с соавт., 2016; Грибанов А.В., с соавт., 2013, 2018]. Наибольшее внимание в литературе относительно характеристик бета-ритма у тревожных испытуемых уделяется корреляции низкочастотных и высокочастотных диапазонов ЭЭГ, в частности дельта-бета корреляции [Knyazev G.G., 2011], подробно рассмотренной выше.

1.3. Характеристики показателей variability сердечного ритма и тревожность

Как известно, механизмы вегетативной регуляции, играют важную роль в реализации деятельности, в том числе когнитивной, обеспечивая мобилизацию физиологических ресурсов и их восстановление, при этом особое значение имеет активация неспецифических стресс-реализующих и стресс-лимитирующих систем [Данилова Н.Н., Крылова А.Л., 2005; Зорин Р.А. с соавт., 2019].

Для оценки активности вегетативной нервной системы, в том числе и в аспекте изучения тревожности, используют анализ variability сердечного ритма (VSR). VSR отражает изменчивость длины R-R-интервалов, которая зависит от активности как вегетативной нервной системы, так и нейрогуморальных процессов, влияющих на работу сердца [Sroufe L.A., 1971; Shaffer F. et al., 2014; Myers B., 2016; Бахчина А.В. с соавт., 2018]. Изменение длительности временных интервалов между ударами сердца может быть соотнесено с реализацией текущего поведения [Бахчина А.В., Александров Ю.И., 2017].

Одним из самых распространённых методов анализа ВСР является математический метод оценки кардиоинтервалов, в рамках которого используют статистические и спектральные методы. Статистические методы позволяют провести количественную оценку совокупности R-R-интервалов. К статистическим характеристикам относятся стандартное отклонение R-R-интервалов от среднего значения – SDNN, характеризующее суммарный эффект вегетативной регуляции кровообращения и коэффициент вариации - CV – нормированная оценка среднего квадратического отклонения [Баевский Р.М. с соавт., 2006].

Спектральные методы с использованием быстрого преобразования Фурье позволяют оценить частотные составляющие сердечного ритма. При анализе частотного спектра принято выделять три основных спектральных диапазона: высокочастотный (high frequency – HF) 0,4 – 0,15 Гц, низкочастотный (low frequency - LF) 0,15 – 0,04 Гц и очень низкочастотный компонент (very low frequency – VLF) 0,04 – 0,003 Гц. Также при спектральном анализе вычисляют относительное значение в процентах от суммарной мощности во всех диапазонах (total power – TP) и отношение средних значений низкочастотного и высокочастотного компонентов ВСР – LF/HF [Task force, 1996].

Высокочастотный компонент HF ВСР рассматривается как индикатор дыхательной синусной аритмии и отражает вагусные влияния на сердечный ритм [Баевский Р.М., Иванов Г.Г., 2001; Thomas V.L. et al. 2019]. Низкочастотный компонент LF ВСР принято связывать с активностью сосудодвигательного центра в продолговатом мозге и интерпретировать как индикатор активности симпатической нервной системы [Баевский Р.М., Иванов Г.Г., 2001; Котельников С.А. с соавт., 2002]. Однако на сегодняшний день в литературе получило распространение мнение о том, что LF может отражать и парасимпатические влияния на сердце [Reyes del Paso G.A. et al., 2013; Koch C. et al. 2019; Thomas V.L. et al. 2019;]. По мнению *Goldstein* и соавторов LF компонент в большей

степени отражает реализацию барорефлекса, нежели чем активность симпатических влияний [Goldstein D.S., et al., 2011]. Важно отметить, что в исследованиях с применением функциональных проб и для оценки восстановительных процессов после интенсивных физических нагрузок в качестве маркера активности симпатических влияний на сердце предлагают использовать длительность пресистолического периода [Michael S., et al., 2017], однако использование данного параметра в психофизиологических исследованиях пока не распространено.

Относительно показателя VLF в литературе встречаются разнообразные интерпретации. По мнению Р.М. Баевского VLF отражает надсегментарный гипоталамический уровень регуляции симпатического отдела вегетативной нервной системы [Баевский Р.М., Иванов Г.Г., 2001]. По некоторым данным VLF может генерироваться интракардиальными пейсмейкерами, чья активность модулируется эфферентными симпатическими влияниями [Shaffer F., et al., 2014; Thomas V.L. et al. 2019]. Также считается, что VLF может зависеть от метаболических процессов, терморегуляции и гормональных перестроек [Баевский Р.М., Иванов Г.Г., 2001; Koch C. et al. 2019]. Однако согласно рекомендациям Европейского кардиологического общества и Североамериканского общества по электрофизиологии показатель VLF предложено исключить из анализа, как сомнительный [Task force, 1996; Thomas V.L. et al. 2019].

В ряде работ указывается на взаимосвязь ориентировочно-исследовательского компонента в структуре деятельности с урежением частоты сердечных сокращений, а ориентировочно-дефенсивного компонента – с учащением сердцебиений [Lacey K., Lacey M., 1970; Симонов П.В., 1981]. Согласно представлениям о тревожности как особой форме оборонительного поведения [Данилова Н.Н. с соавт., 1995], представляются логичными данные об увеличении симпатических влияний на сердечный ритм у тревожных испытуемых

в ситуации эмоционального напряжения. В частности, показано, что у испытуемых в состоянии эмоционального напряжения [Melillo P. et al., 2011; Kemp et al., 2012; Бахчина А.В. с соавт., 2018] или повышенной тревожности [Alvares G.A. et al., 2013; Муртазина Е.П. с соавт., 2019; Liu Y. et al., 2019] снижается вариабельность сердечного ритма, что отражает смещение вегетативного баланса в сторону преобладания симпатических влияний на деятельность сердца [Graziano P., Derefinko K., 2013; Paniccia M. et al., 2017]. Это согласуется с данными Ю.В. Щербатых, согласно которым студенты со слабым типом нервной системы проявляли больший уровень тревожности в ситуации экзаменационного стресса, что сопровождалось выраженным смещением вагосимпатического баланса в сторону преобладания симпатических влияний [Щербатых Ю.В., 2000; Нехорошкова А.Н., Большевидцева И.Л., 2016]. Также, у высокотревожных испытуемых наблюдался высокий уровень соотношения LF/HF на этапе выполнения когнитивного теста [Джебраилова Т.Д., Сулейманова Р.Г., 2012]. Кроме того, показано снижение HF у высокотревожных испытуемых при осуществлении ими когнитивной деятельности [Liu Y. et al., 2019], что рассматривается как уменьшение вагусных влияний на сердечный ритм. Однако, в литературе приводятся данные о положительной корреляционной связи между высокочастотной спектральной составляющей и уровнем тревожности [Jönsson. P. 2007; Shinba T., 2017]. Также у высокотревожных испытуемых показано увеличение LF компонента ВСР при осуществлении целенаправленной деятельности [Клименко А.В. с соавт., 2019]. В то же время есть данные, согласно которым низкочастотный компонент не изменялся в ситуации стресса, и возрастал только в период восстановления [Miu A.C. et al., 2009; Wearne T.A. et al., 2019;], что согласуется с мнением Goldstein о LF компоненте как индикаторе активности барорефлекса [Goldstein D.S., et al., 2011] и отражает реализацию принципа отрицательной обратной связи, направленного на восстановление нормального уровня артериального давления [Wearne T.A. et al., 2019].

Также для испытуемых со средним и высоким уровнем тревожности, было характерно снижение мощности VLF-диапазона ВСП как на этапе выполнения когнитивной деятельности, так и по окончании тестирования [Джебраилова Т.Д., Сулейманова Р.Г., 2012]. Наряду с этим, в литературе представлены данные, согласно которым увеличение мощности VLF компонента спектра рассматривается как маркер ментального стресса [Димитриев Д.А., Саперова Е.В., 2015]. В целом, важно отметить, что интерпретация изменения VLF компонента спектра ВСП представляется затруднительным в связи с недостаточной изученностью его физиологического базиса. В то же время, в исследованиях Игнатовой Ю.П. не было выявлено значимых связей между уровнем тревожности испытуемых с показателями ВСП [Игнатова Ю.П. с соавт., 2018].

1.4. Гуморальные показатели в аспекте тревожности

Стероидные гормоны и тревожность

Кортизол – основной глюкокортикоид, синтезируемый из холестерина в пучковой зоне коры надпочечников. Выработка кортизола происходит ритмично: максимальный уровень гормона в крови наблюдается непосредственно перед пробуждением, минимальный – в вечернее время. Также, уровень гормона повышается в ситуации физической и эмоциональной нагрузки [Buckingham J.C., 2006]. Согласно теории свободных гормонов, которая предполагает, что биологическая активность гормонов определяется концентрацией его свободной формы, свободный кортизол в сыворотке крови считается наиболее точным маркером стресса [Mchenry J. et al., 2014; Weger M., Sandi C., 2018; Ju Y. et al., 2019].

Регуляция синтеза кортизола осуществляется согласно циркадному ритму или в ходе адаптации к стрессорной ситуации, через выработку нейронами паравентрикулярного ядра гипоталамуса, которое имеет обширные связи с лимбической системой и стволом мозга, кортикотропин-рилизинг фактора [Nomura S., 2012; Nakamata Y. et al., 2017].

На уровне взаимодействия с рецепторами, активность кортизола реализуется посредством двух молекулярных механизмов: геномного и негеномного [Тодосенко Н.М. с соавт., 2017]. Геномные эффекты осуществляются через взаимодействие с двумя типами ядерных рецепторов, способных связывать глюкокортикоиды: глюкокортикоидный рецептор (ГР) и минералокортикоидный рецептор (МР) [De Kloet E.R., 2013; Тодосенко Н.М. с соавт., 2017;]. Глюкокортикоидный рецептор обладает аффинностью только по отношению к глюкокортикоидам и встречается во всех тканях организма, в том числе на глиальных клетках, а также нейронах паравентрикулярных ядер, гиппокампа, миндалина и префронтальной коры [De Kloet E.R., 2013; Contoreggi C., 2016]. Его способность взаимодействовать с глюкокортикоидами ниже, чем у минералокортикоидного рецептора, поэтому его эффекты проявляются лишь при достаточно высоком содержании кортизола [Stauble M.R. et al., 2013]. Минералокортикоидный рецептор с равной аффинностью способен связывать как альдостерон, так и кортизол, и широко представлен в печени, почках, жировой ткани, сердце, клетках головного мозга, особенно в нейронах лимбической системы и энторинальной коры [Buckingham J.C., 2006; Тодосенко Н.М. с соавт., 2017]. Однако, минералокортикоидные рецепторы опосредуют эффекты глюкокортикоидов, находящихся в низкой концентрации, в то время как в стрессорной ситуации, когда уровень глюкокортикоидов значительно повышается, их эффекты обусловлены взаимодействием с глюкокортикоидными рецепторами [Buckingham J.C., 2006; De Kloet E.R., 2013; Тодосенко Н.М. с соавт., 2017].

Негеномные эффекты, в отличие от геномных, реализуются в течение нескольких минут после воздействия гормона. В частности, гиперполяризация нейронов гиппокампа, а также прекращение выработки АКТГ передней долей гипофиза происходит уже через 2 минуты после взаимодействия указанных областей с кортизолом [Buckingham J.C., 2006]. В центральной нервной системе

кортизол оказывает влияние на активность таких нейромедиаторных систем, как глутаматная, ГАМК-бензодиазепиновая и эндоканнабиноидная [McEwen B.C., 1992; Сапронов Н.С., 2005; De Kloet E.R., 2013; Weger M., Sandi C., 2018].

В литературе встречаются противоречивые данные относительно связи тревожности с уровнем кортизола. Было выдвинуто предположение о регуляторном влиянии личностной тревожности на секрецию кортизола. Отмечается, что высокий уровень кортизола в плазме ассоциирован с высоким уровнем тревожности, физическим напряжением, смещением фокуса внимания в сторону угрожающего элемента среды [Schlotz W. et al., 2006; Papacosta E. et al., 2016; Lim I.S., 2018], а также увеличивает энергетический потенциал, способствуя оптимальному для достижения результата состоянию [Salvador A. et al., 2003]. В то же время показано снижение эффективности деятельности у лиц с высоким уровнем тревожности. Это связывают с большей активностью гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси при эмоциональном напряжении у высокотревожных испытуемых, сопровождающейся консолидацией в памяти негативных воспоминаний, склонностью к негативной оценке окружающей среды, что может приводить к снижению эффективности совладания таких индивидов с серьезными стрессорными воздействиями [Weger M., Sandi C., 2018]. Кроме того, в ряде исследований указывается на феномен блокирования памяти в условиях острого стресса в связи с высокой концентрацией кортизола в крови у испытуемых [De Kloet E.R. et al., 1999; Wolf O.T., 2009].

В то же время в работе *Jezova* приводятся данные, позволяющие заключить, что высокий уровень кортизола в плазме и слюне ассоциирован со стрессоустойчивостью и характерен для низкотревожных индивидов [Jezova D. et al., 2004]. Также авторы предполагают связь высокого уровня личностной тревожности с невозможностью мобилизовать гормональные механизмы регуляции при столкновении со стрессорным воздействием [Jezova D. et al., 2004], что согласуется с исследованиями *Netter*, где отмечалось отсутствие повышения

уровня кортизола у высокотревожных испытуемых, в отличие от индивидов с низким уровнем тревожности [Netter P., 2004]. Особый интерес вызывают данные о наиболее низком уровне кортизола в слюне у испытуемых со средним уровнем тревожности, по сравнению с низко- и высокотревожными испытуемыми [Корниенко Д.С. с соавт., 2013] что соотносится с предположением о существовании некоего оптимального уровня тревожности, обеспечивающем оптимальный уровень активации регуляторных систем, необходимых для эффективной деятельности [Papacosta E. et al., 2016]. В литературе, также, встречаются исследования, указывающие на отсутствие связи между уровнем кортизола и тревожностью [Salvador A. et al., 2003; Schlotz W. et al., 2006].

Можно предположить, что столь разнообразные данные относительно связи кортизола с уровнем тревожности, обусловлены активностью глюкокортикоидных и минералокортикоидных рецепторов при разных концентрациях кортизола [Stauble M.R. et al., 2013]. Показано, что высокий уровень глюкокортикоидов способствует интенсификации глутаматергической передачи в нейронах гиппокампа и базолатеральной миндалины через взаимодействие с МР [Karst H. et al., 2010; Weger M., Sandi C., 2018]. Есть основания полагать, что МР вовлечены в тоническое ингибирование активности ГГН-оси при среднем уровне стрессорной активации, в то время как ГР тормозят чрезмерную выработку кортизола в ситуации более серьезного стресса [Juruena M.F. et al., 2020].

ДГЭА-с и тревожность

Дегидроэпиандростерон (ДГЭА) и его сульфатированная форма дегидроэпиандростерон-сульфат (ДГЭА-с) – стероидные гормоны, которые вырабатываются в сетчатой зоне коры надпочечников, половыми железами, а также клетками головного мозга [Nomura S., 2012; Stárka L. et al., 2015; Klinge S.M. et al., 2018]. Сульфатированная форма гормона не может проникнуть через гематоэнцефалический барьер [Stárka L. et al., 2015], однако ДГЭА-с

синтезируется нейронами и глиальными клетками, преимущественно астроцитами, что позволяет отнести его к нейростероидам [Baulieu E.E., 1981; Гончаров Н.П. с соавт., 2004; Hildreth K.L. et al, 2013].

В литературе показано, что как нейростероид, ДГЭА-с, взаимодействуя с различными рецепторами, играет серьезную роль в процессах научения, памяти, осуществлении моторных актов и поведении [Niekerk J.K. et al., 2001; Valenti G. et al., 2009; Hildreth K.L. et al., 2013; Maggio M. et al., 2015]. Также отмечаются нейропротекторные свойства ДГЭА-с за счет его способности снижать гибель нейронов и стимулировать нейрогенез и дифференцировку астроцитов [Valenti G. et al., 2009; Maggio M. et al., 2015], и его антиапоптотической и антиглюкокортикоидной активности [Maggio M. et al., 2015; Stárka L. et al., 2015].

В аспекте тревожности интересен анксиолитический эффект ДГЭА-с, однако точные молекулярные механизмы его действия остаются неизученными. По данным ряда исследований низкий уровень ДГЭА ассоциирован с нарушением психоэмоционального состояния испытуемых и развитием депрессивных расстройств [Niekerk J.K. et al., 2001; Shirotaki K. et al., 2009]. В то же время в других работах отмечается слабый позитивный эффект на настроение пациентов при введении им ДГЭА [Wolf O.T., Kirschbaum C., 1999; Shirotaki K. et al., 2009].

Особый интерес представляет оценка соотношения уровня ДГЭА-с к кортизолу. Это соотношение рассматривается как показатель функционального состояния организма, его устойчивости к различным нарушениям, отражает баланс между катаболизмом и анаболизмом, а также выступает в качестве предиктора эффективности терапии депрессивных расстройств [Гончаров Н.П., Каця Г.В., 2015; Leff-Gelman P. et al., 2020]. ДГЭА обладает протекторным действием по отношению к клеткам ЦНС, в частности гиппокампа, в то время как кортизол проявляет деструктивное действие, в связи с чем обоснованно их рассмотрение как естественных антагонистов [Гончаров Н.П., Каця Г.В., 2015]. Нарушение секреции ДГЭА-с вместе с повышенным уровнем кортизола

сопряжено с хроническим стрессом, развитием депрессивных и когнитивных расстройств, а также приводит к усилению цитотоксического воздействия глюкокортикоидов на клетки ЦНС и иммуносупрессии [Leff-Gelman P. et al., 2020]. В литературе оценивается как отношение ДГЭА-с/ кортизол, так и их обратное отношение.

Показано, что более высокий уровень соотношения кортизол/ДГЭА был ассоциирован с низкими показателями пространственно-визуальной памяти, более высоким уровнем тревожности, растерянностью и нарушением настроения [Niekerk J.K. et al., 2001; Гончаров Н.П., Кацья Г.В., 2015; Kamin H.S., Kertes D.A., 2017]. По данным *Goodyer et al.* у пациентов с депрессивным расстройством соотношение кортизола к ДГЭА было значимо выше по сравнению с контрольной группой [Goodyer I.M. et al., 2003]. Кроме того, было показано, что соотношение кортизол/ДГЭА коррелирует с продолжительностью депрессивного эпизода [Shirotsuki K. et al., 2009] и интенсивностью проявления тревожности [Leff-Gelman P. et al., 2020]. Есть основания предполагать, что соотношение кортизол/ДГЭА-с отражает эндокринный дисбаланс работы ГГН-оси и может рассматриваться как негативный прогностический признак относительно развития депрессивных и тревожных расстройств [Angold A. et al., 1999; Goodyer I.M. et al., 2001; Shirotsuki K. et al., 2009; Kamin H.S., Kertes D.A., 2017; Usta M.B. et al., 2017].

Тестостерон и тревожность

Тестостерон – стероидный гормон, образующийся в интерстициальных клетках Лейдига в семенниках под действием лютеинизирующего гормона, а также, в меньшей степени, в коре надпочечников под действием АКТГ [Гайтон А.К., Холл Дж.Э., 2018].

Эффекты тестостерона реализуются на всех этапах жизни организма. Отмечается большая роль тестостерона в формировании и развитии головного мозга особенно в перинатальном периоде [Filová V. et al., 2013; Hamson D.K. et al.,

2016]. В частности, тестостерон оказывает серьезное влияние на функциональную организацию сексуально диморфных ядер средней преоптической области гипоталамуса, пирамидных клеток гиппокампа и гранулярных клеток зубчатой извилины [Filová B. et al., 2013].

Основные эффекты тестостерона в постнатальном периоде развития проявляются в маскулинизации организма [Гайтон А.К., Холл Дж.Э., 2018] и в формировании полового поведения. На уровне центральной нервной системы отмечается нейропротективное действие тестостерона, выражающееся в уменьшении повреждения нейронов, связанного с оксидативным стрессом, индукцией синтеза нейротрофина - фактора роста нервов (NGF) в нейронах гиппокампа [Beauchet O., 2006], а также, снижением уровня нейронального апоптоза, что в целом повышает жизнеспособность нервных клеток [Boss L. et al., 2014]. Кроме того, широкая представленность рецепторов к тестостерону в области миндалины и гиппокампа дают возможность говорить о его участии в таких процессах как обучение, память, а также эмоциональная оценка ситуации [Durdikova J. et al., 2011; Бахтюков А.А. Шпаков А.О., 2016], что делает особенно интересным изучение роли тестостерона в развитии тревожности [Boss L. et al., 2014]. Тестостерон и ассоциированные с ним метаболиты могут оказывать свое действие через медленные геномные эффекты, а также через быстрые негеномные. Оба типа внутриклеточных эффектов, оказываемых стероидами в мозге влияют на проявление аффективных расстройств и модулируют анксиолитическое и антидепрессивное действие тестостерона [Mchenry J. et al., 2014].

Клинические данные свидетельствуют о том, что тестостерон обладает анксиолитическим и антидепрессивным эффектом, однако нейробиологические механизмы этих эффектов до конца не ясны [Mchenry J. et al., 2014]. Показана отрицательная связь между тревожностью и уровнем тестостерона [Netter P., 2004]. Также отмечается, что уровень тестостерона у мужчин ассоциирован с

ситуативной агрессией и мотивацией к победе при осуществлении соревновательной деятельности [Salvador A. et al., 2003; Norman R.E. et al., 2015; Paracosta E. et al., 2016; Casto K. V., Edward D. A., 2016]. В частности, выработка тестостерона во время соревнований была положительно связана с последующей агрессией, но только у мужчин с низким уровнем тревожности [Norman R.E. et al., 2015]. Известно, что тестостерон может подавлять активность гипоталамо-гипофизарно-адренкортикальной оси, а также снижать уровень глюкокортикостероидов [Lebron-milad K., Milad M. R., 2012; Mchenry J. et al., 2014]. Эти данные дают основания полагать, что концентрации кортизола и тестостерона во время стресса взаимодействуют друг с другом [Paracosta E. et al., 2016], обеспечивая оптимальный уровень активации для адаптации к ситуации угрожающего характера [Salvador A. et al., 2003].

Кроме того, особый интерес представляют данные о том, что уровень тестостерона положительно связан с активацией процессов селективного внимания, направленных на выявление эмоционально-негативных стимулов как у животных [Lacreuse A. et al., 2010; King H.M. et al., 2012], так и у людей [Van Honk J. et al., 1999; Wirth M. M., Schultheiss O. C., 2007; Chen C. et al., 2015; Fang H. et al., 2020].

Секреторный иммуноглобулин А и тревожность

Секреторный иммуноглобулин А (s-IgA) относится к основному классу антител, представляющим собой один из наиболее важных элементов иммунной системы, входящий в состав «первой линии иммунной защиты». Он в большом количестве обнаруживается в таких биологических жидкостях человека, как слюна, плазма, моча, грудное молоко и др. [Nomura S., 2012].

В связи с тем, что секреторный иммуноглобулин А находится в тонком взаимодействии с эндокринной системой, считается возможным использовать его в качестве маркера состояний стресса и эмоционального напряжения [Teeuw W. et al., 2004; Nomura S., 2012]. Отмечается, что высокий уровень s-IgA был

ассоциирован с высоким уровнем кортизола и был выше и индивидов с высоким уровнем тревожности [Paracosta E. et al., 2016]. В работе *Woof and Russell* показана важность оценки уровня не только общего количества s-IgA, но и его субклассов S-IgA1 и S-IgA2 [Woof J.M., Russell M.W., 2011]. Подъем уровня s-IgA1 характерен для состояний эмоционального стресса, физической и интеллектуальной нагрузки, в то время как уровень s-IgA2 остается неизменным при данных видах деятельности.

В работах *Ring* отмечается, что деятельность, в том числе интеллектуальная, характеризующаяся активацией симпатической нервной системы приводит к подъему уровня s-IgA, в то время как задача на темповое дыхание, которая сопровождается повышением тонуса вагуса, не оказывает влияния на уровень иммуноглобулина [Wetherell M.A. et al., 2004; Ring C. et al., 2005]. Однако в литературе представлены данные, согласно которым концентрация секреторного IgA в слюне увеличивается в период восстановления после нагрузки [Green M.L. et al., 1988; Nomura S., 2012; Díaz-Silveira C., 2020]. До настоящего момента механизмы, с помощью которых стресс или нагрузка избирательно влияют на субклассы секреторного иммуноглобулина А остаются неизвестными.

1.5. Заключение

В настоящем обзоре приведены взгляды как отечественных, так и зарубежных исследователей на механизмы возникновения тревожности и ее возможные физиологические корреляты. Однако, зачастую разнонаправленные интерпретации данных относительно электрофизиологических, вегетативных и гуморальных показателей в аспекте тревожности, позволяют сделать вывод о недостаточной разработанности этой проблемы.

Обращает на себя внимание разнообразие данных относительно электроэнцефалографических коррелятов тревожности. Несмотря на сложившиеся представления о роли структур головного мозга в генезе тревоги, нет единого мнения о вкладе той или иной ритмической составляющей ЭЭГ во взаимодействие этих структур. Феноменологически наблюдаемое преобладание

того или иного частотного диапазона интерпретируется авторами в рамках той или иной нейрофизиологической концепции, что зачастую влечет за собой взаимоисключающие трактовки. В частности, в ряде исследований у высокотревожных испытуемых отмечается усиление дельта-бета корреляции наряду с увеличением спектральной мощности дельта-ритма [Schutter D.J., van Honk J., 2005; Knyazev G.G., 2011; Poole K.L., Schmidt L.A., 2019]. В то же время, приводятся данные относительно увеличения альфа- и снижения дельта-активности у высокотревожных испытуемых, что рассматривается как реципрокные взаимоотношения между ритмами этих диапазонов, связанные с тормозным контролем альфа-ритма над эволюционно старыми структурами, синхронизирующимися на частоте дельта-ритма [Князев Г.Г. с соавт., 2009].

Неоднозначными представляются и данные относительно показателей вариабельности сердечного ритма у высокотревожных испытуемых. Считается, что вариативность изменений кардиоваскулярной реактивности у лиц с высоким уровнем тревожности в ситуации эмоционального напряжения зависит как от модели индукции тревоги (при лабораторных исследованиях), так и от индивидуально-типологических характеристик испытуемых [Porra T. et al., 2020].

В рамках обсуждения гуморальных коррелятов тревожности обращают на себя внимание противоречивые данные о взаимосвязи уровня кортизола и тревожности. Возможные расхождения в этом аспекте связывают с рецептор-опосредованными дозозависимыми эффектами кортизола на активность сопряженных с тревогой структур мозга [Тодосенко Н.М. с соавт., 2017; Juruena M.F. et al., 2020]. Вариативность данных относительно уровня тестостерона у лиц с разным уровнем тревожности связывают с активностью разных мотивационных систем у этих испытуемых [Norman R.E. et al., 2015; Papacosta E. et al., 2016; Casto K. V., Edward D. A., 2016]. Таким образом, анализ литературы о динамике гуморальных показателей, также указывает на необходимость учета индивидуальных особенностей индивидов, при изучении механизмов обеспечения когнитивной деятельности с учетом фактора тревожности.

В целом, необходимо отметить, что разнонаправленность и разрозненность приведенных в литературе данных может быть связана как особенностями выбранных лабораторных моделей индукции тревоги, и техническими особенностями регистрации обсуждаемых показателей, так и с методологическим подходом, в рамках которого проводились описанные исследования. Попытка сопоставления разноуровневых коррелятов тревожности неминуемо приводит к необходимости анализа полученных данных с точки зрения системного подхода с учетом мотивации и прогнозируемого испытуемым результата.

Глава 2. Материалы и методы

Диссертационная работа проведена на базе кафедры нормальной физиологии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского Федерального Государственного Автономного Образовательного Учреждения Высшего Образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации» (Сеченовский университет). Исследование состоит из двух серий и проведено в соответствии с нормами локального этического комитета Первого МГМУ им. И.М. Сеченова на основании предварительно подписанного участниками информированного согласия.

2.1. Регистрация и анализ ЭЭГ при выполнении теста на концентрацию и скорость переключения внимания у испытуемых с разным уровнем тревожности (1 серия)

В первой серии на основании добровольного информированного согласия приняли участие 43 человека, относительно здоровые юноши 19- 21 года, правши. Исследование проводилось в период времени с 12:00 до 15:00.

Схема обследования включала в себе следующие этапы:

1. Ознакомление испытуемых с процедурой обследования, заполнение бланков добровольного информированного согласия;
2. Заполнение бланков психологических тестов;
3. Установка электродов для регистрации ЭЭГ;
4. Регистрация ЭЭГ в исходном состоянии при закрытых глазах;
5. Инструкция по выполнению экспериментальной задачи;
6. Регистрация ЭЭГ в исходном состоянии при открытых глазах;
7. Выполнение экспериментальной задачи с параллельной регистрацией ЭЭГ.

У испытуемых оценивали уровень личностной (ЛТ) и ситуативной (СТ) тревожности (STAI) по тесту Ч. Спилбергера в модификации Ю.Л. Ханина

[Ханин Ю.Л., 1976; Карелин А.А., 2007]. В зависимости от уровня личностной тревожности испытуемые ($n = 43$) были разделены на группы.

Испытуемым предлагалось выполнить компьютеризованный вариант теста Горбова (красно-черные таблицы), используемый для оценки концентрации и скорости переключения внимания [Методика Горбова «Красно-черная таблица», 1995]. Во время обследования испытуемый находился в удобном кресле перед экраном монитора (17 дюймов). На мониторе отображалась квадратная таблица, состоящая из 24 красных и 25 черных квадратных ячеек с собственными номерами от 1 до 24 и от 1 до 25 соответственно. Для всех испытуемых использовался одинаковый набор паттернов расположения квадратов.

Тест состоял из двух заданий. В первом задании испытуемым необходимо было выбрать (указать курсором) сначала черные квадраты в порядке возрастания номеров (от 1 до 25), а затем красные квадраты в порядке убывания номеров (от 24 до 1). Во втором задании испытуемым необходимо было выбрать черные квадраты в порядке возрастания номеров, чередуя их с красными квадратами в порядке убывания: черный 1, красный 24, черный 2, красный 23 и т.д. По результатам выполнения теста для каждого испытуемого вычисляли общее время выполнения всего теста (с), число допущенных при этом ошибок и время переключения внимания. Время переключения внимания вычисляли как разницу между временем выполнения первого и второго задания.

ЭЭГ регистрировали в исходном состоянии при закрытых глазах ($\Phi 1$), непосредственно перед ($\Phi 2$, при открытых глазах) и во время выполнения теста (Тест) с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-спектр» (г. Иваново) монополярно по схеме “10 – 20” в затылочных ($O 2$, $O 1$), теменных ($P 4$, $P 3$), центральных ($C 4$, $C 3$), лобных ($F 4$, $F 3$) и височных ($T 4$, $T 3$) отведениях. Объединенные референтные электроды располагались на мочках ушей. Полоса фильтрации составляла 0,5 – 35,0 Гц, постоянная времени – 0,32 с, режективный фильтр - 50 Гц. После регистрации все записи ЭЭГ были переведены в

компьютерную систему анализа и топографического картирования электрической активности мозга «BRAINSYS» для Windows и обработаны с помощью аппаратно-программного комплекса «НЕЙРО-КМ» (ООО «Статокин», г. Москва) [Митрофанов А.А., 2017]. Артефакты исключали из анализируемой записи с использованием возможностей программного комплекса BRAINSYS.

Спектральный анализ ЭЭГ проводили на основе быстрого преобразования Фурье (пакет программ BRAINSYS). Эпоха анализа составляла 4 сек при длительности каждого фрагмента в 1 мин с 50% перекрытием, частота оцифровки – 200 Гц. Полученные спектрограммы являлись результатом усреднения по 15 последовательным 4 секундным реализациям каждой анализируемой ЭЭГ. Вычисляли спектры мощности в диапазонах основных ритмов (тета1 - 4.0-6.0 Гц; тета2 - 6.0-8.0 Гц; альфа - 8.0-13.0 Гц; бета1 - 13.0-20.0 Гц; бета2 - 20.0-35.0 Гц).

Для всех пар отведений вычисляли средние значения функции когерентности по тета1-диапазону ЭЭГ, которые рассматривали как коэффициент когерентности (КК) потенциалов соответствующего диапазона ЭЭГ. Для этого запись ЭЭГ длительностью одна мин разбивалась на 15 непересекающихся эпох анализа длительностью 4 секунды каждая. На основе преобразования Фурье и усреднения спектров по эпохам вычисляли оценки взаимной спектральной мощности $S_{ij}(f)$ каналов (i и j) и оценки спектральной мощности каждого из каналов $S_i(f)$ и $S_j(f)$. Затем вычисляли оценку квадрата модуля когерентности (КМК) $\text{Coh}_{ij}^2(f)$:

$$\text{Coh}_{ij}^2(f) = |S_{ij}(f)|^2 / S_i(f) S_j(f).$$

После чего рассчитывали коэффициент когерентности (КК) $\text{Coh}_{ij}(f)$, равный корню квадратному из КМК:

$$\text{Coh}_{ij}(f) = \sqrt{\text{Coh}_{ij}^2(f)}.$$

2.2. Регистрация и анализ ЭЭГ, ВСР и оценка гуморальных показателей слюны при выполнении теста на рабочую память у испытуемых с разным уровнем тревожности (2 серия)

Во второй серии принимали участие 35 человек, относительно здоровые юноши в возрасте 18 – 22 лет, правши. Тестирование проводилось в период времени с 12:00 до 15:00.

Схема обследования включала в себя следующие этапы:

1. Ознакомление испытуемых с процедурой обследования, заполнение бланков добровольного информированного согласия и психологических тестов;
2. Взятие образца слюны;
3. Установка электродов для регистрации ЭЭГ и ЭКГ;
4. Регистрация ЭЭГ (при закрытых глазах) и ЭКГ в исходном состоянии;
5. Проведение теста на оценку скорости простой и сложной сенсомоторной реакции;
6. Инструкция по выполнению экспериментальной задачи – компьютеризированной версии теста Струпа;
7. Регистрация ЭЭГ в исходном состоянии при открытых глазах;
8. Выполнение теста Струпа с параллельной регистрацией ЭКГ;
9. Регистрация ЭКГ и ЭЭГ после выполнения теста при открытых глазах;
10. Взятие образца слюны после завершения тестирования.

У испытуемых оценивали уровень личностной (ЛТ) и ситуативной (СТ) тревожности (STAI) по тесту Ч. Спилбергера в модификации Ю.Л. Ханина [Ханин Ю.Л., 1976; Карелин А.А., 2007]. В зависимости от распределения показателей уровня ЛТ и СТ испытуемые ($n = 35$) были разделены на группы.

Параметры простой и сложной сенсомоторной реакции оценивали с помощью компьютерной версии теста. Тест для оценки времени простой сенсомоторной реакции состоял из 30 предъявлений. В качестве визуального

стимула на экране в фиксированной области демонстрировался зеленый круг размером 2x2 см. Испытуемым необходимо было как можно быстрее нажать левую клавишу мыши при нерегулярном предъявлении стимула. Тест для оценки времени сложной сенсомоторной реакции также состоял из 30 предъявлений. В качестве визуального стимула на экране с разной периодичностью демонстрировался круг зеленого или красного цвета. При появлении на экране зеленого круга, испытуемому необходимо было как можно быстрее нажать левую клавишу мыши, а при появлении красного круга – правую.

Далее испытуемым предлагалось выполнить тест на оценку скорости компьютеризованный вариант модифицированного теста Струпа, направленного на оценку рабочей памяти [Stroop J.R., 1935; Jensen A.R., Rohwer W.D., 1966]. Во время обследования испытуемый находился в удобном кресле перед экраном монитора (17 дюймов). На мониторе отображались фигуры разной формы (квадрат, круг, ромб или треугольник), с разным цветом рамки (красный, зеленый, синий, коричневый или фиолетовый). В фигуры были вписаны слова, обозначающие цвета (красный, зеленый, синий, коричневый или фиолетовый), с разным цветом рамки (красной, зеленой, синей, коричневой или фиолетовой) Для всех испытуемых использовался одинаковый набор паттернов предъявления фигур.

Тест состоял из 5 заданий разного уровня сложности. Испытуемым по очереди предъявлялись фигуры со вписанными в них названиями цветов. В случае, если фигура и слово подходили по критериям инструкции, испытуемый нажимал левую клавишу мыши. В случае, если фигура и слово не соответствовали инструкции, испытуемый нажимал правую клавишу мыши. Количество критериев соответствия, которые испытуемому необходимо было помнить, по мере прохождения теста увеличивалось.

В первом задании левую клавишу мыши нажимали, в случае, если смысл слова совпадал с цветом слова. Во втором задании левую клавишу мыши, также,

нажимали, в случае, если смысл слова совпадал с цветом слова. Однако в этом задании с каждой фигурой менялся цвет фона, в качестве отвлекающего элемента. В третьем задании левую клавишу мыши нажимали, в случае, если смысл слова совпадал с цветом слова, а также, если смысл слова совпадал с цветом рамки. В четвертом задании левую клавишу мыши нажимали, в случае, если смысл слова совпадал с цветом слова или если цвет слова совпадал с цветом рамки. В пятом задании левую клавишу мыши нажимали, в случае, если смысл слова совпадал с цветом слова, если смысл слова совпадал с цветом рамки, если слова «красный» или «коричневый» были вписаны в квадрат, а слова «синий» и «зеленый» – в круг.

По результатам выполнения теста для каждого испытуемого рассчитывали общее время выполнения всего теста (c) и общее количество допущенных при этом ошибок.

ЭЭГ регистрировали в исходном состоянии при закрытых глазах (Ф13Г), непосредственно перед (Ф10Г, при открытых глазах) и сразу после выполнения теста (Ф20Г) с помощью электроэнцефалографа «Неокортекс-С» (г. Зеленоград) монополярно по схеме “10 – 20” в (O_2 , O_1), теменных (P_4 , P_3), центральных (C_4 , C_3), лобных (F_4 , F_3) и височных (T_4 , T_3) отведениях. Объединенные референтные электроды располагались на мочках ушей. Полоса фильтрации составляла 0,5 – 35,0 Гц, постоянная времени – 0,32 с, режективный фильтр - 50 Гц. После регистрации все записи ЭЭГ были переведены в компьютерную систему анализа и топографического картирования электрической активности мозга «BRAINSYS» для Windows и обработаны с помощью аппаратно-программного комплекса «НЕЙРО-КМ» (ООО «Статокин», г. Москва) [Митрофанов А.А., 2012]. Спектральный анализ ЭЭГ проводили на основе быстрого преобразования Фурье (пакет программ BRAINSYS). Эпоха анализа составляла 4 сек при длительности каждого фрагмента в 1 мин с 50% перекрытием, частота оцифровки – 200 Гц. Полученные спектрограммы являлись результатом усреднения по 15 последовательным 4 секундным реализациям каждой анализируемой ЭЭГ.

Вычисляли спектры мощности в диапазонах основных ритмов (тета1 - 4.0-6.0 Гц; тета2 - 6.0-8.0 Гц; альфа - 8.0-13.0 Гц; альфа1 - 8.0- 10.0 Гц; альфа2 - 10.0-13.0 Гц; бета1 - 13.0-20.0 Гц; бета2 - 20.0-35.0 Гц). При анализе ЭЭГ, зарегистрированной при закрытых глазах, дополнительно вычисляли спектр мощности в дельта-диапазоне (0,5-4,0 Гц). Рассчитывали относительную спектральную мощность основных ритмов (как отношение мощности соответствующего диапазона к суммарной мощности спектра) и отношения мощности альфа/дельта, бета1/дельта и бета2/дельта диапазонов.

Регистрация ЭКГ проводилась с использованием аппаратно-программного комплекса «Полиспектр-8», фирмы «Нейрософт» в положении сидя, во II стандартном отведении. Эпоха анализа составляла 5 минут. Оцифровка сигналов осуществлялась с частотой 2000 Гц. Из записи исключались все эктопические сокращения. Спектральный анализ проводился на основе быстрого преобразования Фурье с использованием пакета программ «Поли-Спектр-Ритм» фирмы «Нейрософт». Оценивали статистические и спектральные характеристики variability сердечного ритма (BCP).

RRNN (мс) – средняя длина R-R-интервалов; CV (%) – коэффициент вариации длины R-R-интервалов; TP (мс²) - общая спектральная мощность (0.003–0.40 Гц); HF (мс²) – спектральная мощность высокочастотного компонента BCP (0.15–0.40 Гц); LF (мс²) - спектральная мощность низкочастотного компонента BCP (0.04–0.15 Гц); VLF (мс²) - спектральная мощность очень низкочастотного компонента BCP (0.003–0.04 Гц); LF/HF – соотношение нормализованной мощности.

Сбор слюны осуществлялся за 10 минут до выполнения теста и сразу после него. Предварительно испытуемые были предупреждены о том, что за сутки до проведения исследования они не должны употреблять алкогольные напитки, лекарственные средства, а также воздержаться от курения. За 5 минут до сбора слюны испытуемым предлагалось прополоскать рот. Сбор слюны проводился с использованием системы «SaliCar» фирмы IBL. Через пропиленовую соломинку в

пробирку SaliCap. После сбора слюны пробирки подвергались быстрой заморозке и хранились при температуре -80°C . Измерение оптической плотности проводили с использованием иммуноридера ImmunoChem2100, США.

Исследовали уровень содержания кортизола, тестостерона, дегидроэпиандростерон-сульфата и секреторного IgA в слюне до и после когнитивной нагрузки. В настоящей работе иммуноферментный анализ проводили с использованием наборов IBL для измерения уровня альфа-амилазы в слюне (кат. №RE80111), DBC для измерения уровня кортизола (кат. №749-2001) и тестостерона (кат. №749-4001) в слюне и DiaMetra для измерения s-IgA (кат. №DKO078) и ДГЭА-С (кат. №DKO024)¹ в слюне. Все измерения проводили в соответствии с протоколами, приложенными к наборам.

Для определения уровня ДГЭА-С использовался метод непрямого конкурентного ИФА. После внесения калибраторов, контролей и образцов в лунки планшета, сенсibilизированного антителами к ДГЭА-с, добавляли 150 мкл разведенного конъюгата ДГЭА-с пероксидазой, инкубировали в течение 15 минут при температуре 37° . После чего промывали трижды и добавляли 100 мкл тетраметилбензидина, инкубировали в течение 15 минут в темноте при температуре 37° . Реакцию останавливали добавлением 100 мкл H_2SO_4 . Оптическую плотность измеряли на длине волны 450 нм. Интенсивность окрашивания раствора, возникшем вследствие ферментативной реакции, обратно пропорциональна концентрации ДГЭА-С в анализе.

Уровень кортизола исследовался аналогичным методом непрямого конкурентного ИФА. После внесения калибраторов, контролей и образцов в лунки планшета, сенсibilизированного антителами к кортизолу, добавляли 100 мкл разведенного конъюгата кортизола с пероксидазой, инкубировали в течение 45 минут при комнатной температуре на шейкере при 200 об./мин. После чего промывали трижды и добавляли 150 мкл тетраметилбензидина, инкубировали в течение 15-20 минут при комнатной температуре. Реакцию останавливали

добавлением 50 мкл H_2SO_4 . Оптическую плотность измеряли в течение 20 минут после добавления стоп-раствора на длине волны 450 нм. Интенсивность окрашивания раствора, возникшем вследствие ферментативной реакции, обратно пропорциональна концентрации кортизола в анализе.

Для определения уровня тестостерона использовался двухшаговый стрептавидин-биотиновый метод непрямого конкурентного анализа. После внесения калибраторов, контролей и образцов в лунки планшета, сенсibilизированного антителами к тестостерону, добавляли 100 мкл конъюгата тестостерон/биотин, инкубировали в течение 60 минут при комнатной температуре на шейкере при 200 об./мин. После чего промывали 5 раз и добавляли 150 мкл рабочего раствора конъюгата стрептавидин/пероксидаза. Инкубировали в течение 30 минут при комнатной температуре на шейкере при 200 об./мин, после чего повторяли процедуру промывки. Затем добавляли 150 мкл тетраметилбензидина, инкубировали в течение 10-15 минут при комнатной температуре на шейкере. Реакцию останавливали добавлением 50 мкл H_2SO_4 . Оптическую плотность измеряли в течение 20 минут после добавления стоп-раствора на длине волны 450 нм. Интенсивность окрашивания раствора, возникшем вследствие ферментативной реакции, обратно пропорциональна концентрации тестостерона в анализе.

При измерении уровня s-IgA использовался метод непрямого неконкурентного ИФА – «сэндвич» метод. После внесения калибраторов, контролей и образцов в лунки планшета, сенсibilизированного моноклональными антителами к секреторному IgA, добавляли 100 мкл разведенного конъюгата секреторного IgA с пероксидазой, инкубировали в течение 60 минут при комнатной температуре. После чего промывали трижды и добавляли 100 мкл тетраметилбензидина, инкубировали в течение 15 минут при комнатной температуре в темноте. Реакцию останавливали добавлением 100 мкл H_2SO_4 . Оптическую плотность измеряли в течение 5 минут после добавления

стоп-раствора на длине волны 450 нм. Интенсивность окрашивания прямо пропорциональна концентрации s-IgA в образце.

2.3. Статистическая обработка

Для статистического анализа и представления данных использовали пакет программ «STATISTICA v.10.0». Данные представлены в виде (Me [25%; 75%]). Для проверки нормальности распределения переменных использовали критерий Шапиро–Уилка. Сравнение несвязанных групп проводили при помощи критерия Краскела – Уоллиса, как непараметрического аналога дисперсионного анализа для несвязанных выборок (Kruskal-Waltes ANOVA). Апостериорный анализ проводили с использованием U-критерия Манна-Уитни (Mann-Whitney U test) для несвязанных групп. Динамику показателей у одной группы испытуемых оценивали с использованием критерия Фридмана («Friedman ANOVA by Ranks»), являющегося непараметрическим аналогом дисперсионного анализа повторных измерений. Апостериорный анализ проводили с применением T-критерия Вилкоксона (Wilcoxon test) для связанных групп. Достоверными считали отличия при $p < 0,05$. Значения p скорректированы с учетом поправки по Бонферрони. Для оценки корреляционных связей проводили ранговый анализ по Спирмену.

Для оценки динамики показателей рассчитывали дельту (Δ) по формуле:

$$\Delta = (M2 - M1)/M1, \text{ где}$$

M1 - значение показателя до тестирования; M2 – значение показателя после тестирования

Глава 3. Характеристики ЭЭГ у испытуемых с разной личностной тревожностью при когнитивной деятельности

Первая серия обследования посвящена изучению особенностей динамики спектральных характеристик и функциональных корковых связей тета диапазона ЭЭГ у испытуемых при выполнении ими теста на концентрацию и скорость переключения внимания с учетом фактора тревожности.

В зависимости от уровня личностной тревожности (ЛТ), определенной по тесту Ч. Спилбергера в модификации Ю.Л. Ханина [Ханин Ю.Л., 1976; Карелин А.А. 2007] испытуемые (n=43) были разделены на группы.

К группе с низкой ЛТ (ЛТ1, n=13) были отнесены испытуемые с уровнем тревожности до 30 баллов, к группе со средней ЛТ (ЛТ2, n=17) с уровнем тревожности в диапазоне 31-44 балла, к группе с высокой ЛТ (ЛТ3, n=13) с уровнем тревожности в диапазоне 45-55 баллов.

Значимых различий в параметрах результата выполнения теста у испытуемых с разным уровнем ЛТ не обнаружено (табл. 3.1). Однако меньшие значения времени выполнения теста отмечались у испытуемых со средним уровнем личностной тревожности.

Таблица 3.1.

Показатели личностной, ситуативной тревожности и результаты выполнения теста у испытуемых с низкой, средней и высокой личностной тревожностью; (Me [25%; 75%]).

Показатель	Личностная тревожность		
	Низкая	Средняя	Высокая
Тревожность личностная, балл	29,0 [27,0; 30,0]	35,0 [33,0; 37,0]	45,5 [42,0; 50,0]
Тревожность ситуативная, балл	29,0 [28,0; 30,0]	31,0 [30,0; 36,0]	37,5 [35,5; 41,0]
Время выполнения теста, с	302,2 [252,8; 360,9]	279,1 [244,4; 327,5]	314,9 [279,6; 344,2]
Время переключения внимания, с	90,8 [68,8; 134,2]	95,1 [67,8; 114,0]	122,0 [88,2; 132,8]

3.1. Динамика спектральной мощности потенциалов основных диапазонов ЭЭГ у лиц с разной личностной тревожностью при когнитивной деятельности

Первый этап нашей работы посвящен рассмотрению спектральных характеристик основных диапазонов ЭЭГ у испытуемых с разным уровнем тревожности при выполнении ими когнитивного теста. Спектральный анализ ЭЭГ позволяет оценить вклад каждого ритма в осуществление текущей деятельности.

Спектральные характеристики ЭЭГ в тета1-диапазоне

Испытуемые с разным уровнем тревожности достоверно отличались по спектральной мощности колебаний тета1-диапазона ЭЭГ ($N=43$; $df=2$) в исходном состоянии при закрытых глазах ($\Phi 1$) в отведениях О1 ($H=6,74$; $p=0,034$), О2 ($H=7,43$; $p=0,024$), Р3 ($H=7,17$; $p=0,028$), Р4 ($H=6,90$; $p=0,032$), С4 ($H=6,52$; $p=0,039$), F4 ($H=7,04$; $p=0,030$), а также при открытых глазах ($\Phi 2$) в отведении Р3 ($H = 9,11$; $p = 0,011$).

Апостериорный анализ (U-критерий Манна-Уитни) показал, что у испытуемых с высокой ЛТ в исходном состоянии при закрытых глазах мощность тета1-диапазона ЭЭГ была достоверно ниже, чем у индивидов с низкой ЛТ в отведениях О1 ($U=35$; $Z=2,51$; $p=0,036$), О2 ($U=31$; $Z=2,72$; $p=0,021$), и Р3 ($U=34$; $Z=2,54$; $p=0,03$), а также ниже, чем у испытуемых со средней ЛТ в отведениях Р4 ($U=45$; $Z=2,57$; $p=0,03$) и F4 ($U=49$; $Z=2,39$; $p=0,048$) (табл. 3.1.1). В исходном состоянии при открытых глазах ($\Phi 2$) у испытуемых с высокой ЛТ мощность тета1-диапазона была ниже, чем у индивидов с низкой ЛТ в отведении Р3 ($U=29$; $Z=2,82$; $p=0,015$).

Таблица 3.1.1.

Спектральная мощность потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ (μV^2) у испытуемых с разной личностной тревожностью в исходном состоянии при закрытых ($\Phi 1$) и открытых ($\Phi 2$) глазах, и при выполнении теста (Тест); (Me [25%; 75%]).

Отв. ЭЭГ	$\Phi 1(\text{ЗГ})$	$\Phi 2(\text{ОГ})$	Тест	Т-критерий Вилкоксона					
				$\Phi 1(\text{ЗГ})$ -Тест			$\Phi 2(\text{ОГ})$ -Тест		
				T	Z	p	T	Z	p
ЛГ1									
O_2	5,6 [4,5; 11,8]*	5,8 [3,4; 7,9]	9,3 [5,5; 10,9]				0	3,18	0,005
O_1	5,2 [4,1; 9,4]*	4,1 [3,0; 6,4]	6,7 [4,7; 8,2]				9	2,55	0,033
P_4	5,9 [4,5; 12,9]	5,4 [3,4; 7,4]	8,4 [6,0; 10,0]				0	3,18	0,005
P_3	5,6 [4,7; 9,9]*	4,9 [4,1; 6,3]*	6,6 [5,9; 7,7]				2	3,04	0,007
C_4	6,9 [4,9; 10,4]	4,8 [3,5; 8,2]	7,2 [5,9; 10,8]				1	3,11	0,006
C_3	5,9 [4,7; 10,8]	4,6 [3,7; 7,0]	7,5 [5,6; 8,6]				0	3,18	0,005
F_4	7,7 [5,2; 10,6]	5,8 [4,0; 9,2]	8,1 [7,2; 12,2]				0	3,18	0,005
F_3	7,0 [4,8; 9,8]	6,0 [4,3; 9,1]	8,9 [6,6; 10,9]	6	2,59	0,029	3	2,97	0,009
T_4	2,3 [1,9; 3,7]	2,3 [1,4; 2,7]	2,4 [1,8; 4,3]						
T_3	3,1 [2,0; 3,2]	2,9 [1,5; 3,7]	3,3 [1,8; 4,3]						
ЛГ2									
O_2	5,5 [3,6; 7,9]	4,8 [3,8; 5,7]	8,4 [6,7; 12,0]				0	3,52	0,001
O_1	3,6 [2,7; 7,3]	3,9 [3,2; 4,4]	7,1 [5,9; 9,2]				2	3,42	0,002
P_4	7,2 [4,5; 8,3]*	5,2 [4,0; 7,0]	8,5 [7,5; 10,3]				0	3,52	0,001
P_3	4,7 [3,6; 6,7]	4,3 [3,5; 5,7]	7,5 [6,2; 8,9]	13	2,84	0,014	1	3,47	0,002
C_4	6,8 [4,6; 7,9]	5,6 [4,5; 7,4]	8,6 [7,8; 10,1]				0	3,52	0,001
C_3	6,1 [4,3; 7,1]	5,4 [4,3; 6,0]	7,9 [7,5; 9,6]	4	3,31	0,003	1	3,47	0,002
F_4	7,8 [5,1; 8,6]*	6,5 [5,2; 8,1]	9,7 [8,7; 11,1]	4	3,31	0,003	0	3,52	0,001
F_3	6,4 [5,2; 8,0]	6,5 [5,2; 7,9]	9,2 [8,0; 10,6]	2	3,42	0,002	3	3,36	0,002
T_4	2,2 [1,7; 3,0]	2,2 [1,6; 3,6]	2,7 [2,5; 3,3]						
T_3	1,6 [1,5; 2,3]	1,7 [1,5; 2,4]	2,4 [1,8; 3,0]	18	2,58	0,029	15	2,74	0,018
ЛГ3									
O_2	3,4 [3,2; 4,8]	3,5 [2,9; 4,4]	6,7 [5,6; 9,8]	0	3,06	0,007	0	3,06	0,007
O_1	2,8 [2,4; 4,1]	2,7 [2,2; 3,4]	5,5 [4,4; 8,3]	2	2,90	0,011	0	3,06	0,007
P_4	4,1 [3,2; 5,4]	3,8 [3,4; 4,7]	7,0 [5,9; 9,2]	1	2,98	0,008	0	3,06	0,007
P_3	4,2 [2,8; 4,7]	3,5 [2,8; 4,1]	6,5 [4,8; 7,9]	2	2,90	0,011	0	3,06	0,007
C_4	4,2 [3,9; 5,3]	5,2 [3,1; 5,4]	7,3 [6,1; 9,1]	0	3,06	0,007	1	2,98	0,008
C_3	4,3 [3,8; 6,0]	4,5 [3,6; 5,0]	7,1 [6,1; 8,2]	3	2,82	0,014	0	3,06	0,007
F_4	5,1 [4,4; 5,4]	6,1 [4,6; 7,3]	8,4 [7,0; 9,8]	0	3,06	0,007	1	2,98	0,008
F_3	5,5 [4,4; 6,9]	5,9 [4,3; 7,3]	8,0 [7,8; 9,1]	2	2,90	0,011	3	2,82	0,014
T_4	1,7 [1,5; 2,0]	1,9 [1,6; 2,2]	2,3 [2,2; 2,8]	7	2,51	0,036	0	3,06	0,007
T_3	1,8 [1,6; 2,2]	1,7 [1,6; 2,0]	2,5 [1,8; 3,4]	-			0	3,06	0,007

Примечания к таблице: *- достоверно большая мощность тета1-диапазона ЭЭГ у испытуемых с низкой (ЛГ1) и средней (ЛГ2) тревожностью, по сравнению с испытуемыми с высокой (ЛГ3) тревожностью (p - с учетом поправки по Бонферрони).

Анализ динамики спектральной мощности тета1-диапазона ЭЭГ на этапах деятельности (критерий Фридмана) продемонстрировал, что ее значения у испытуемых каждой из выделенных групп достоверно различались практически во всех отведениях во всех экспериментальных ситуациях: в исходном состоянии при закрытых (Ф1) и открытых (Ф2) глазах, а также во время выполнения задания (Тест) (табл. 3.1.2., рис. 3.1.1.).

Таблица 3.1.2.

Различия спектральной мощности тета1-диапазона ЭЭГ в исходном состоянии при закрытых (Ф1) и открытых (Ф2) глазах, и во время выполнения теста (Тест) у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью.

Отведения ЭЭГ	Критерий Фридмана: Ф1(ЗГ) – Ф2(ОГ) –Тест		
	ЛТ1	ЛТ2	ЛТ3
O_2	$H=14,00; p=0,0009$	$H=21,13; p<0,0001$	$H=18,17; p=0,0001$
O_1	$H=11,69; p=0,0029$	$H=12,13; p=0,0023$	$H=15,50; p=0,0004$
P_4	$H=14,00; p=0,0009$	$H=19,63; p<0,0001$	$H=15,50; p=0,0004$
P_3	$H=11,23; p=0,0036$	$H=15,50; p=0,0004$	$H=17,17; p=0,0002$
C_4	$H=14,00; p=0,0009$	$H=13,88; p=0,001$	$H=15,17; p=0,0005$
C_3	$H=11,23; p=0,0036$	$H=19,50; p<0,0001$	$H=15,17; p=0,0005$
F_4	$H=17,09; p=0,0002$	$H=17,73; p=0,0001$	$H=16,17; p=0,0003$
F_3	$H= 9,69; p=0,0079$	$H=15,88; p=0,0004$	$H=10,17; p=0,0062$
T_4			$H=15,50; p=0,0004$
T_3		$H=11,38; p=0,0034$	$H=15,17; p=0,0005$

Апостериорные сравнения (критерий Вилкоксона) показали, что у испытуемых с низким уровнем личностной тревожности в исходном состоянии при открытых глазах спектральная мощность тета1-диапазона ЭЭГ была меньше, чем при закрытых глазах в отведениях O_1 ($T=9; Z=2,55; p=0,033$) и C_4 ($T=7; Z=2,69; p=0,021$). Также у испытуемых с низкой ЛТ во время выполнения теста мощность тета1-диапазона достоверно повышалась во всех областях, кроме височных по сравнению с исходным состоянием с ОГ и не отличалась (за исключением отведения F_3) от наблюдавшейся при ЗГ (табл. 3.1.1).

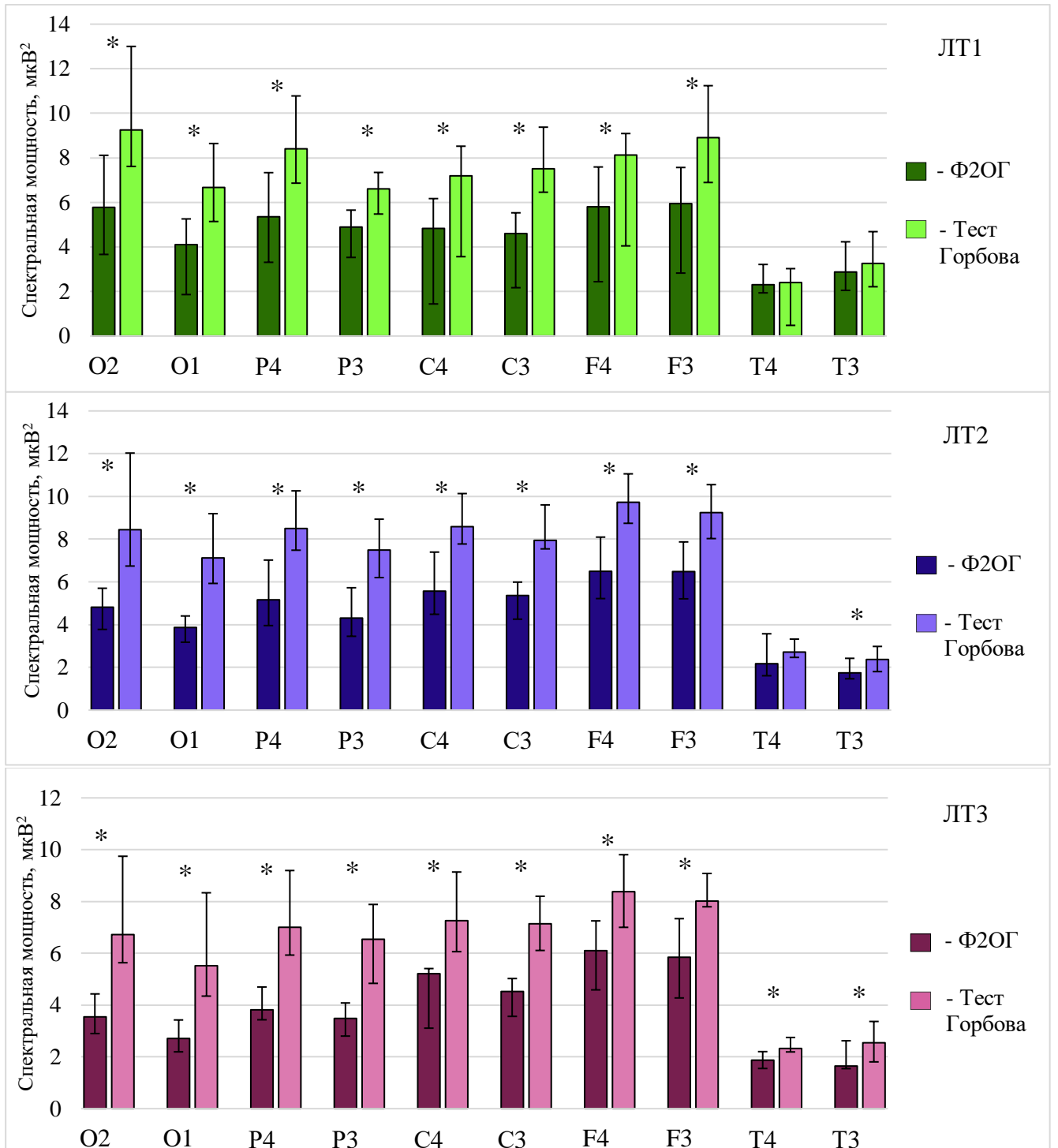


Рисунок 3.1.1. Спектральная мощность тета1-ритма у испытуемых с разной ЛТ в исходном состоянии и (Ф2ОГ) и при выполнении теста Горбова. Данные представлены в виде (Me [25%;75%]).

Примечания к рисунку: «*» - достоверные отличия ($p < 0,05$) внутри группы.

В группе испытуемых со средним уровнем личностной тревожности спектральная мощность тета1-диапазона в исходном состоянии при ОГ была

ниже, чем при ЗГ в отведениях P3 ($T=22$; $Z=2,38$; $p=0,05$) и P4 ($T=14$; $Z=2,79$; $p=0,015$). Во время выполнения теста мощность тета1-ритма у этих испытуемых достоверно повышалась во всех отведениях, кроме T4, и была выше, чем при ЗГ в левых теменной, центральной, височной и обеих фронтальных областях (табл. 3.1.1).

В группе с высокой ЛТ различий мощности тета1-диапазона ЭЭГ в исходном состоянии при закрытых и открытых глазах не выявлено. При выполнении теста мощность тета1-ритма была достоверно выше, наблюдавшейся в исходном состоянии, как при открытых (во всех отведениях), так и при закрытых (во всех отведениях, кроме T3) глазах.

Таким образом, у испытуемых всех выделенных групп наблюдалось повышение мощности тета1-диапазона ЭЭГ на этапе выполнения теста, по сравнению с состоянием, предшествующим деятельности (с открытыми глазами). Если у испытуемых с низкой ЛТ в исходном состоянии при закрытых глазах мощность тета1-диапазона не отличалась от наблюдавшейся при выполнении теста, то у индивидов с высокой ЛТ она была достоверно ниже, чем при тестировании. В некоторых отведениях мощность тета1-диапазона ЭЭГ в исходном состоянии при ЗГ (Ф1) у испытуемых с высокой ЛТ была достоверно ниже, чем у испытуемых с высокой и средней ЛТ.

Спектральные характеристики ЭЭГ в тета2-диапазоне

Испытуемые с разным уровнем личностной тревожности ($N=43$; $df=2$) достоверно отличались по уровню спектральной мощности тета2-диапазона ЭЭГ в исходном состоянии при ЗГ в отведениях F4 ($H=8,56$; $p=0,014$), F3 ($H=6,51$; $p=0,039$) и T4 ($H=7,11$; $p=0,029$).

Апостериорный анализ (U-критерий Манна-Уитни) показал, что у испытуемых с высокой ЛТ мощность потенциалов тета2-диапазона была меньше, чем у испытуемых со средней ЛТ в отведении F4 ($U=44$; $Z=2,61$; $p=0,027$), составив 4,4 [3,0; 5,0] мкВ² и 7,0 [4,7; 11,8] мкВ² соответственно. Также спектральная мощность потенциалов тета2-диапазона у испытуемых с высоким

уровнем личностной тревожности была достоверно меньше, чем у испытуемых с низким уровнем личностной тревожности в отведениях F3 ($U=21$; $Z=2,47$; $p=0,039$), составив 4,1 [3,3; 5,1] мкВ² и 7,0 [4,8; 9,8] мкВ² соответственно, а также T4 ($U=21$; $Z=2,47$; $p=0,039$), будучи равной 1,3 [1,0; 1,4] мкВ² и 2,3 [1,9; 3,7] мкВ² соответственно.

Спектральные характеристики ЭЭГ в альфа-диапазоне

Испытуемые с разной личностной тревожностью достоверно отличались по спектральной мощности альфа-ритма ЭЭГ (критерий Краскела-Уоллеса) в исходном состоянии при закрытых глазах в отведениях С3 ($H=6,40$; $p=0,041$), F4 ($H=7,13$; $p=0,028$) и F3 ($H=7,52$; $p=0,023$).

Апостериорный анализ (U-критерий Манна-Уитни) показал, что в этих отведениях у испытуемых с высокой ЛТ мощность альфа-диапазона была ниже, чем у индивидов с низкой тревожностью. В отведении С3 ($U=37$; $Z=2,44$; $p=0,014$) при значениях 15,6 [11,1; 28,5] мкВ² и 29,7 [21,2; 63,9] мкВ² соответственно; в отведении F4 ($U=35$; $Z=2,54$; $p=0,01$) при значениях 14,3 [9,9; 21,9] мкВ² и 26,8 [23,1; 46,8] мкВ² соответственно; в отведении F3 ($U=33$; $Z=2,64$; $p=0,007$) при значениях 14,6 [9,2; 21,1] мкВ² и 28,5 [21,9; 49,4] мкВ² соответственно.

Спектральные характеристики ЭЭГ в бета-диапазоне

В бета1- и бета2-диапазонах ЭЭГ ни в исходном состоянии, ни при выполнении заданий статистически значимых различий мощности потенциалов у испытуемых с разным уровнем тревожности не выявлено (критерий Краскела-Уоллиса).

Однако у испытуемых с низкой и средней ЛТ спектральная мощность бета2-диапазона в ситуациях «Ф1», «Ф2» и «Тест» достоверно различалась в большинстве отведений, а у индивидов с высокой ЛТ только в отведениях O2 и P4 (критерий Фридмана) (табл. 3.1.3., рис. 3.1.2.).

Таблица 3.1.3

Различия спектральной мощности бета2-диапазона ЭЭГ в исходном состоянии при закрытых (Ф1) и открытых (Ф2) глазах, и во время выполнения теста (Тест) у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью.

Отведения ЭЭГ	Критерий Фридмана: Ф1(ЗГ) – Ф2(ОГ) –Тест		
	ЛТ1	ЛТ2	ЛТ3
	бета2-диапазон		
O_2	$H=9,38; p=0,0092$	$H=13,73; p=0,0010$	$H=13,27; p=0,0013$
O_1	$H=6,73; p=0,0346$	$H=15,50; p=0,0004$	
P_4	$H=9,69; p=0,0079$	$H=9,29; p=0,0096$	$H=6,17; p=0,046$
P_3	$H=12,67; p=0,0018$	$H=16,35; p=0,0003$	
C_4	$H=9,39; p=0,0092$		
C_3	$H=6,17; p=0,0458$	$H=7,41; p=0,0250$	
F_4	$H=11,54; p=0,0031$		
F_3	$H=8,17; p=0,0168$	$H=7,53; p=0,023$	
T_4	$H=6,50; p=0,0388$	$H=16,62; p=0,0003$	
T_3		$H=23,63; p<0,0001$	

Апостериорный анализ (Т-критерий Вилкоксона) показал, что у испытуемых с низкой ЛТ в исходном состоянии при ЗГ (Ф1) мощность бета2-диапазона была выше, чем при ОГ (Ф2) в теменных и центральных отведениях. (табл. 3.1.4). При выполнении теста она повышалась, по сравнению с предшествующим этапом (Ф2) во всех отведениях, кроме височных, и не отличалась от наблюдавшейся при закрытых глазах.

У испытуемых со средней ЛТ в исходном состоянии мощность бета2-диапазона при ЗГ была выше, чем при ОГ в отведении Р4. Во время выполнения теста мощность бета2-диапазона возрастала по сравнению с исходным состоянием при ОГ в затылочных, теменных и височных отведениях. При этом она достоверно превышала мощность, наблюдавшуюся при ЗГ в левой ($T=20; Z=3,41; p=0,0018$) и правой ($T=5; Z=3,26; p=0,003$) височных областях.

У испытуемых с высокой ЛТ увеличение спектральной мощности бета2-диапазона наблюдалось только в правой затылочной области во время выполнения теста по сравнению с исходным состоянием при ОГ.

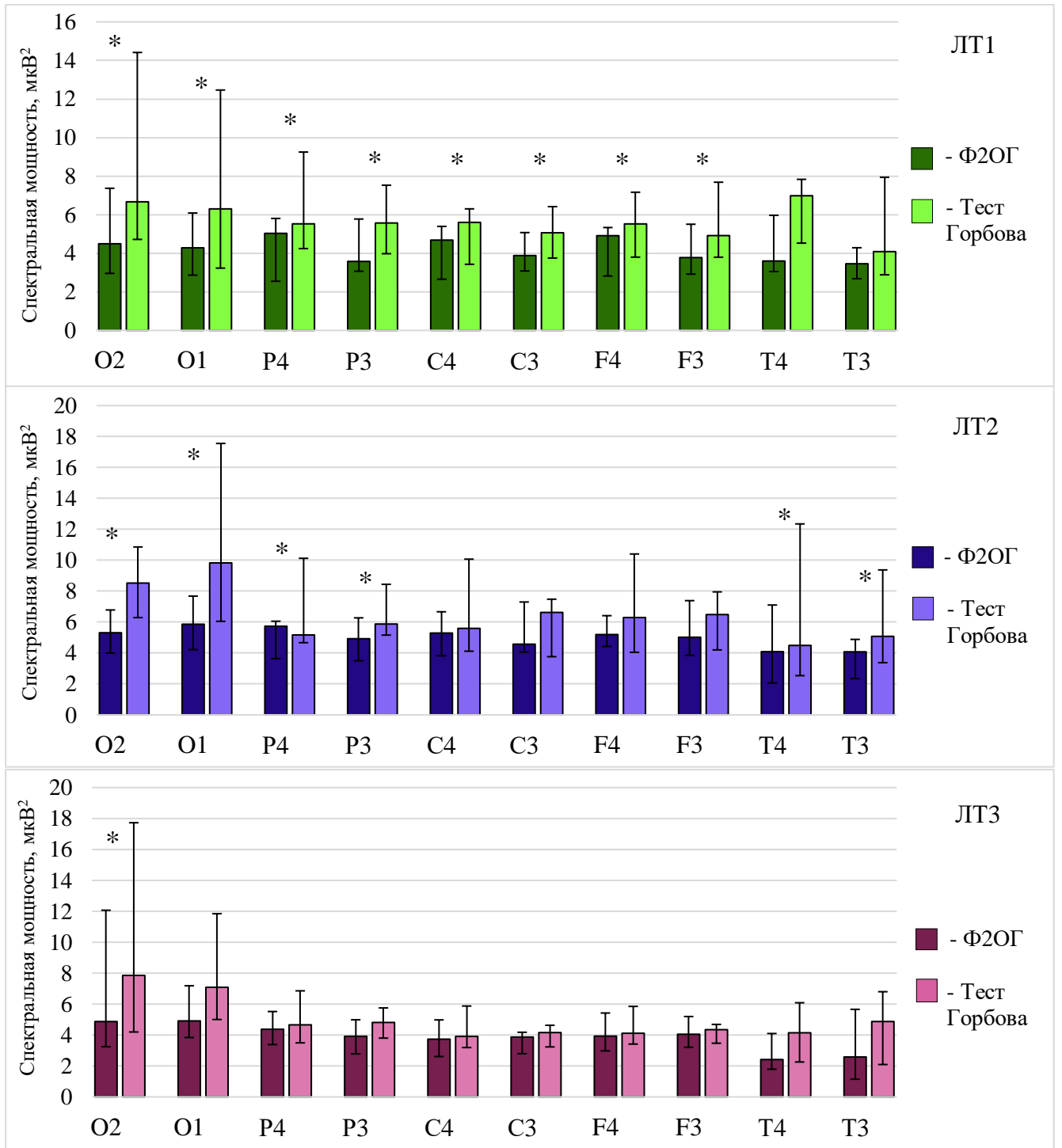


Рисунок 3.1.2. Спектральная мощность бета2-ритма у испытуемых с разной ЛТ в исходном состоянии и (Ф2ОГ) и при выполнении теста Горбова. Данные представлены в виде (Me [25%;75%]).

Примечания к рисунку: «*» - достоверные отличия ($p < 0,05$) внутри группы.

Таблица 3.1.4.

Спектральная мощность потенциалов бета2-диапазона ЭЭГ (мкВ^2) у испытуемых с разной личностной тревожностью в исходном состоянии при закрытых ($\Phi 1$) и открытых ($\Phi 2$) глазах, и при выполнении теста (Тест); (M_e [25%; 75%]).

Отв. ЭЭГ	$\Phi 1(\text{ЗГ})$	$\Phi 2(\text{ОГ})$	Тест	Т-критерий Вилкоксона					
				$\Phi 1(\text{ЗГ}) - \Phi 2(\text{ОГ})$			$\Phi 2(\text{ОГ}) - \text{Тест}$		
				T	Z	p	T	Z	p
ЛТ1									
O_2	7,3 [5,6; 8,4]	4,5 [3,2; 7,2]	7,5 [5,4; 13,1]				11	2,41	0,048
O_1	4,9 [3,9; 6,9]	4,3 [2,9; 6,1]	6,3 [3,2; 12,5]				3	2,82	0,014
P_4	5,9 [3,9; 6,7]	5,0 [2,6; 5,8]	5,5 [4,2; 9,3]	9	2,55	0,033	8	2,43	0,045
P_3	4,1 [3,6; 6,2]	3,6 [3,1; 5,8]	5,6 [4,0; 7,5]	4	2,75	0,018	6	2,59	0,029
C_4	5,4 [3,7; 6,2]	4,7 [2,7; 5,4]	5,6 [3,4; 6,3]	11	2,41	0,048	4	2,75	0,018
C_3	4,4 [3,6; 5,3]	3,9 [3,1; 5,1]	5,1 [3,8; 6,4]	5	2,67	0,023	7	2,51	0,036
F_4	5,5 [3,7; 5,8]	4,9 [2,8; 5,3]	5,5 [3,8; 7,2]				3	2,82	0,014
F_3	4,5 [3,6; 5,4]	3,8 [2,9; 5,5]	4,9 [3,8; 7,7]				3	2,82	0,014
T_4	4,0 [2,8; 5,4]	3,6 [3,1; 6,0]	7,0 [4,5; 7,8]						
T_3	2,9 [2,2; 3,8]	3,5 [2,7; 4,3]	4,1 [2,9; 7,9]						
ЛТ2									
O_2	7,8 [5,4; 9,6]	5,3 [4,0; 6,8]	8,5 [6,3; 10,9]				0	3,52	0,001
O_1	7,7 [5,6; 9,4]	5,9 [4,2; 7,7]	9,8 [6,1; 17,6]				0	3,52	0,001
P_4	6,6 [4,8; 7,2]	5,7 [3,6; 6,1]	5,2 [4,7; 10,1]	18	2,77	0,017	10	3,15	0,005
P_3	5,1 [4,5; 6,8]	4,9 [3,5; 6,3]	5,9 [5,2; 8,4]				8	3,24	0,004
C_4	5,8 [4,5; 6,9]	5,3 [3,8; 6,7]	5,6 [4,1; 10,1]						
C_3	5,6 [4,7; 7,3]	4,6 [4,1; 7,3]	6,6 [3,8; 7,5]						
F_4	5,9 [4,2; 6,6]	5,2 [4,4; 6,4]	6,3 [4,1; 10,4]						
F_3	5,8 [3,9; 7,1]	5,0 [3,9; 7,7]	6,5 [4,2; 8,0]						
T_4	3,0 [2,1; 5,6]	4,1 [2,1; 7,1]	4,5 [2,5; 12,4]				10	3,00	0,009
T_3	2,4 [2,2; 3,8]	4,1 [2,4; 4,9]	5,1 [3,4; 9,4]				0	3,52	0,001
ЛТ3									
O_2	8,8 [4,0; 12,3]	4,9 [3,3; 12,1]	7,9 [4,2; 17,7]			-	6	2,40	0,048
O_1	6,8 [4,8; 8,4]	4,9 [3,8; 7,2]	7,1 [5,0; 11,8]			-			
P_4	5,7 [4,0; 6,7]	4,4 [3,4; 5,5]	4,7 [3,5; 6,9]			-			
P_3	4,2 [3,4; 7,2]	3,9 [2,8; 5,0]	4,8 [3,8; 5,8]			-			
C_4	4,3 [3,1; 5,9]	3,7 [2,6; 5,0]	3,9 [3,2; 5,9]			-			
C_3	3,9 [3,2; 5,3]	3,9 [2,8; 4,2]	4,2 [3,2; 4,6]			-			
F_4	4,0 [2,7; 5,6]	3,9 [3,0; 5,4]	4,1 [3,4; 5,9]			-			
F_3	4,1 [3,2; 5,5]	4,1 [3,2; 5,2]	4,4 [3,5; 4,7]			-			
T_4	2,1 [1,6; 3,4]	2,4 [1,8; 4,1]	4,2 [2,3; 6,1]			-			
T_3	2,9 [1,7; 6,3]	2,6 [1,1; 5,7]	4,9 [2,1; 6,8]	-		-			

Примечание к таблице: значения p указаны с учетом поправки по Бонферрони

Таким образом, у индивидов с разным уровнем личностной тревожности выявлены особенности динамики мощности бета2-диапазона при переходе от исходного состояния к выполнению заданий. При выполнении тестов, по

сравнению с исходным состоянием при открытых глазах у индивидов с низкой ЛТ увеличение мощности бета2-ритма наблюдалось на ЭЭГ всех областей коры (кроме височных); у испытуемых со средней ЛТ – в затылочных, теменных и височных; а у индивидов с высокой ЛТ – только в правой затылочной области коры.

В целом обобщение результатов этого этапа обследования позволяет сделать следующее *заключение*.

Обнаружены особенности динамики мощности тета1-диапазона ЭЭГ на этапах обследования у испытуемых с разной ЛТ. Если у испытуемых с низкой ЛТ в исходном состоянии при закрытых глазах мощность тета1-диапазона не отличалась от наблюдавшейся при выполнении теста, то у индивидов с высокой ЛТ она была достоверно ниже, чем при тестировании. У испытуемых со средней ЛТ мощность тета1-ритма в исходном состоянии при ЗГ не отличалась от наблюдавшейся при тестировании в ряде областей коры (обе затылочные, а также правые теменная, центральная и височная области).

В некоторых отведениях мощность тета1-диапазона ЭЭГ в исходном состоянии при ЗГ (Ф1) у испытуемых с высокой ЛТ была достоверно ниже, чем у испытуемых с высокой и средней ЛТ.

В это же время у испытуемых с высокой личностной тревожностью в исходном состоянии при ЗГ наблюдалась меньшая, чем у индивидов с низкой тревожностью мощность альфа-диапазона ЭЭГ левой центральной и обеих фронтальных областей коры.

При выполнении теста, по сравнению с исходным состоянием при открытых глазах, у индивидов с низкой личностной тревожностью отмечалось возрастание мощности потенциалов как тета1-, так и бета2- диапазонов ЭЭГ во всех областях коры, кроме височных. У испытуемых со средней ЛТ наблюдалось увеличение мощности как в тета1- (во всех областях, кроме правой височной), так и бета2- (в затылочных, теменных и височных областях) диапазонах ЭЭГ. У индивидов с высокой тревожностью при выполнении теста наблюдалось увеличение мощности

потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ, но не происходило роста мощности бета2-потенциалов ЭЭГ (за исключением правой затылочной области).

3.2. Динамика когерентности потенциалов тета-диапазона ЭЭГ при когнитивной деятельности у испытуемых с разной личностной тревожностью

Следующий этап нашей работы посвящен анализу когерентности ЭЭГ, позволяющему оценить функциональное взаимодействие корковых зон на коротких временных промежутках, что способствует более точной оценке мозгового обеспечения быстро изменяющихся во времени когнитивных процессов [Мачинская Р.И. с соавт., 2016]. Выбор именно тета-ритма ЭЭГ обусловлен хорошо известной ролью ритмических осцилляций тета-диапазона в обеспечении поддержания внимания и рабочей памяти [Sauseng P. et al., 2009; Hansmayr S. and Staudigl T., 2014; Мачинская Р.И. с соавт., 2016; VanRullen R., 2018; Helfrich R.F. et al., 2018].

Испытуемые с разной личностной тревожностью достоверно отличались по уровню когерентных взаимосвязей потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ ряда областей коры (Критерий Краскела-Уоллиса) (табл. 3.2.1).

Апостериорный анализ (U-критерий Манна-Уитни) показал (табл. 3.2.2), что в исходном состоянии (при закрытых глазах) у испытуемых с высокой ЛТ наблюдалась меньшая, чем у студентов со средней и низкой ЛТ, правополушарная когерентность потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ в системе взаимосвязей с фокусом в правом височном отведении (рис. 3.2.1. А)

Таблица 3.2.1.

Различия коэффициентов когерентности потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ у испытуемых с разной личностной тревожностью в исходном состоянии при закрытых (Ф1) и открытых (Ф2) глазах, а также при выполнении теста (Тест) (Критерий Краскела-Уоллиса)

Отведения ЭЭГ	Критерий Краскела-Уоллиса					
	Ф1(ЗГ)		Ф2(ОГ)		Тест	
	Н	р	Н	р	Н	р
P4-O2					7,01	0,030
C4-O2					9,01	0,011
C3-O1					8,37	0,015
P3-P4					5,99	0,05
F3-P4			8,62	0,014		
T4-P4	6,04	0,049				
C4-P3					8,64	0,013
C3-P3					7,49	0,024
F4-P3					11,24	0,004
C3-C4			9,37	0,009	10,20	0,006
F3-C4			12,95	0,002	9,72	0,008
T4-C4	6,70	0,035				
F4-C3			9,11	0,011	15,50	0,0004
T3-C3			6,43	0,04		
F3-F4			9,39	0,009	12,10	0,002
T4-F4	10,08	0,007			6,13	0,047
T3-F3			6,41	0,041		
T3-T4					8,33	0,016

Таблица 3.2.2.

Различия когерентности потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ у испытуемых с разной личностной тревожностью в исходном состоянии при закрытых (Ф1) и открытых (Ф2) глазах, а также при выполнении теста (Тест); (Me [25%; 75%]).

Отв. ЭЭГ	1 ЛТ	2ЛТ	3ЛТ	U-Критерий Манна-Уитни								
				1-2 гр			2-3 гр			1-3 гр		
				T	Z	p	T	Z	p	T	Z	p
Ф1 (закрытые глаза)												
T4-P4	0,61 [0,49; 0,68]	0,67 [0,62; 0,76]	0,54 [0,45; 0,64]				52	2,35	0,057			
T4-C4	0,59 [0,46; 0,74]	0,59 [0,49; 0,74]	0,46 [0,34; 0,54]				50	2,43	0,045			
T4-F4	0,47 [0,40; 0,63]	0,50 [0,45; 0,67]	0,36 [0,23; 0,39]				41	2,82	0,015	28	2,69	0,021
Ф2 (открытые глаза)												
F3-P4	0,39 [0,24; 0,47]	0,42 [0,39; 0,47]	0,51 [0,44; 0,54]				39	-2,90	0,011			
C3-C4	0,57 [0,52; 0,68]	0,66 [0,59; 0,72]	0,72 [0,69; 0,76]							26	-2,80	0,015
F3-C4	0,51 [0,49; 0,61]	0,62 [0,46; 0,65]	0,67 [0,64; 0,73]				30	-3,28	0,003	24	-2,91	0,011
F4-C3	0,58 [0,54; 0,63]	0,62 [0,53; 0,67]	0,69 [0,66; 0,73]				46	-2,60	0,027	30	-2,58	0,029
F3-F4	0,67 [0,64; 0,70]	0,69 [0,65; 0,75]	0,74 [0,72; 0,80]				47	-2,56	0,030	27	-2,74	0,018
Тест												
C4-O2	0,74 [0,66; 0,77]	0,62 [0,54; 0,69]	0,60 [0,49; 0,68]	54	2,50	0,036				26	2,61	0,027
C3-O1	0,73 [0,65; 0,81]	0,59 [0,56; 0,70]	0,59 [0,52; 0,65]	57	2,38	0,051				26	2,61	0,027
P3-P4	0,64 [0,59; 0,68]	0,70 [0,62; 0,73]	0,71 [0,67; 0,76]							30	-2,38	0,051
C4-P3	0,59 [0,38; 0,68]	0,68 [0,63; 0,73]	0,69 [0,67; 0,71]							21	-2,90	0,012
C3-P3	0,93 [0,89; 0,95]	0,88 [0,85; 0,91]	0,88 [0,82; 0,89]							29	2,43	0,045
F4-P3	0,52 [0,32; 0,54]	0,56 [0,51; 0,63]	0,62 [0,57; 0,64]							14	-3,30	0,003
C3-C4	0,71 [0,61; 0,73]	0,76 [0,69; 0,80]	0,79 [0,75; 0,82]							17	-3,13	0,005
F3-C4	0,62 [0,55; 0,66]	0,70 [0,63; 0,74]	0,75 [0,67; 0,79]							19	-3,01	0,008
F4-C3	0,61 [0,58; 0,68]	0,73 [0,66; 0,76]	0,77 [0,71; 0,79]	52	-2,58	0,03				5	-3,82	0,0003
F3-F4	0,66 [0,65; 0,75]	0,78 [0,74; 0,81]	0,79 [0,75; 0,85]	57	-2,38	0,051				14	-3,30	0,003
T3-T4	0,21 [0,17; 0,35]	0,38 [0,32; 0,48]	0,24 [0,19; 0,34]	58	-2,34	0,057	45	2,41	0,048			

Примечание к таблице: значения p указаны с учетом поправки по Бонферрони

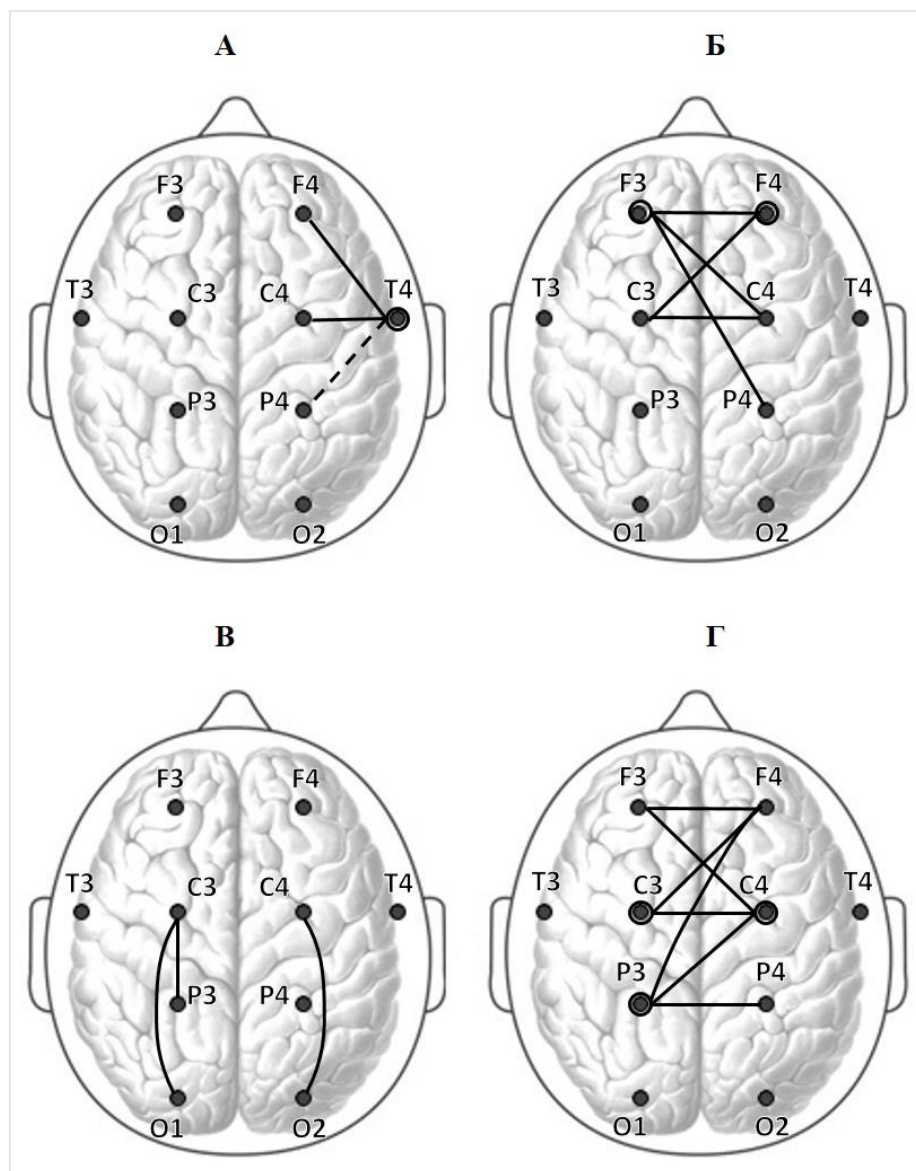


Рисунок 3.2.1. Топография различий уровня когерентности на этапах обследования у испытуемых с разной личностной тревожностью

А (исходное состояние при ЗГ): – меньшая правополушарная когерентность у высокотревожных испытуемых по сравнению с испытуемыми со средней и низкой личностной тревожностью;

Б (исходное состояние при ОГ) - большая межполушарная когерентность у высокотревожных испытуемых по сравнению с испытуемыми с низкой и средней личностной тревожностью;

В – (Тест): - более высокая внутрислошарная когерентность у испытуемых с низкой личностной тревожностью по сравнению с испытуемыми со средней и высокой ЛТ;

Г - (Тест): - большая межполушарная когерентность у высокотревожных испытуемых по сравнению с испытуемыми с низкой личностной тревожностью

Примечания к рисунку: представлены только достоверные различия ($p < 0,05$).

В исходном состоянии при открытых глазах у испытуемых с высокой личностной тревожностью наблюдались большая, чем у индивидов с низкой и средней ЛТ межполушарная когерентность в системе взаимосвязей тета1-диапазона ЭЭГ фронтальных, центральных и правого теменного отведений (рис. 3.2.1. Б).

При выполнении теста у испытуемых с высокой ЛТ отмечалась большая, чем у индивидов с низкой ЛТ межполушарная когерентность тета1-диапазона ЭЭГ фронтальных и центральных областей, а также пар отведений P3-P4, P3-C4 и P3-F4 (рис. 3.2.1. Г). У испытуемых со средней ЛТ межполушарная когерентность тета-диапазона была выше, чем у студентов с низкой ЛТ в отведениях F4-C3 и F3-F4. Одновременно у испытуемых с низкой ЛТ отмечалась большая, чем у индивидов со средней и высокой ЛТ внутриполушарная когерентность тета-диапазона в отведениях C4-O2 C3-O1 C3-P3 (рис. 3.2.1. В).

Сравнение значений коэффициентов когерентности в исходном состоянии при открытых и закрытых глазах, а также при выполнении теста (Критерий Фридмана) позволило сделать вывод о том, что уровень когерентности тета1-диапазона ЭЭГ ряда областей коры в этих трех ситуациях у испытуемых каждой из выделенных по уровню ЛТ групп отличался (табл. 3.2.3). Для того, чтобы ответить на вопрос, в каких именно ситуациях у испытуемых каждой из выделенных групп уровень когерентности потенциалов достоверно различался был проведен апостериорный анализ (Т-критерий Вилкоксона), результаты которого представлены в таблицах (таблицы 3.2.4-3.2.6).

Таблица 3.2.3.

Различия коэффициентов когерентности потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ в исходном состоянии при закрытых (Ф1) и открытых (Ф2) глазах, и во время выполнения теста (Тест) (Критерий Фридмана) у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью

Отведения ЭЭГ	Friedman ANOVA: Ф1(ЗГ) – Ф2(ОГ) –Тест					
	ЛТ1		ЛТ2		ЛТ3	
	<i>H</i>	<i>p</i>	<i>H</i>	<i>p</i>	<i>H</i>	<i>p</i>
O1-O2			10,11	0,006		
P4-O2	12,15	0,002				
C4-O2	19,08	<0,001				
C3-O2	6,62	0,037	7,0	0,030		
F4-O2	7,39	0,025				
T4-O2	9,69	0,008	6,33	0,042		
T3-O2			6,33	0,042		
P4-O1			12,00	0,002		
P3-O1	20,46	<0,001				
C3-O1	11,69	0,003				
F3-O1	8,77	0,013				
T4-O1			7,00	0,03		
T3-O1			10,11	0,006	7,82	0,020
P3-P4			18,78	<0,001	8,91	0,012
C4-P4	9,69	0,008			10,36	0,006
C3-P4			14,33	<0,001	7,09	0,029
F4-P4					10,36	0,006
F3-P4			10,78	0,005	7,09	0,029
T4-P4	9,69	0,008	11,11	0,004	7,09	0,029
T3-P4			8,78	0,012		
C4-P3			10,11	0,006	7,82	0,020
C3-P3	11,69	0,003				
F4-P3			12,0	0,003	8,91	0,012
F3-P3	7,39	0,025				
T4-P3			12,11	0,002	7,09	0,029
T3-P3			10,11	0,006		
C3-C4			12,0	0,003	7,82	0,020
F4-C4	8,77	0,013	12,33	0,002		
F3-C4			11,44	0,003		
T4-C4	9,39	0,009			7,82	0,020
T3-C4			10,78	0,005		
F4-C3			12,11	0,002	7,09	0,029
F3-C3	12,92	0,002	8,78	0,012		
T4-C3			16,44	<0,001	7,82	0,020
F3-F4			7,0	0,03		
T4-F4	11,23	0,004			7,82	0,020
T3-F4			7,44	0,024	7,09	0,029
T4-F3			8,44	0,015		
T3-T4			12,44	0,002		

У испытуемых с низкой ЛТ в исходном состоянии при закрытых (Ф1) и открытых (Ф2) глазах значимых отличий когерентности тета1-диапазона не обнаружено (табл. 3.2.4). При выполнении теста, по сравнению с исходным состоянием с ОГ (Ф2), наблюдалось достоверное повышение преимущественно внутриполушарной когерентности в 11 парах отведений, а также межполушарной когерентности в отведениях С3-О2 (табл. 3.2.4; рис. 3.2.2.).

Таблица 3.2.4.

Различия коэффициентов когерентности тета1-диапазона ЭЭГ у испытуемых с низкой личностной тревожностью в исходном состоянии (Ф1- при закрытых; Ф2 - при открытых глазах) и при выполнении теста (Тест); (Me [25%; 75%]).

Отв. ЭЭГ	Ф1(ЗГ)	Ф2(ОГ)	Тест	Т-критерий Вилкоксона					
				Ф2(ОГ)-Тест			Ф1(ЗГ)-Тест		
				T	Z	P	T	Z	P
P4-O2	0,85 [0,79; 0,88]	0,86 [0,79; 0,89]	0,89 [0,83; 0,89]	2	3,04	0,006	3	2,97	0,009
C4-O2	0,62 [0,53; 0,71]	0,65 [0,54; 0,74]	0,74 [0,66; 0,77]	3	2,97	0,009	0	3,18	0,0045
C3-O2	0,34 [0,17; 0,42]	0,29 [0,18; 0,34]	0,42 [0,25; 0,47]	5	2,83	0,014	-	-	-
F4-O2	0,42 [0,26; 0,56]	0,43 [0,39; 0,51]	0,55 [0,48; 0,59]	7	2,69	0,021	10	2,48	0,04
T4-O2	0,51 [0,43; 0,57]	0,56 [0,41; 0,59]	0,66 [0,46; 0,69]	4	3,30	0,011	-	-	-
P3-O1	0,82 [0,76; 0,85]	0,84 [0,73; 0,87]	0,87 [0,79; 0,91]	0	3,18	0,0045	0	3,18	0,0045
C3-O1	0,63 [0,57; 0,69]	0,68 [0,51; 0,73]	0,73 [0,65; 0,81]	1	3,11	0,006	7	2,69	0,021
F3-O1	0,45 [0,33; 0,57]	0,45 [0,29; 0,60]	0,56 [0,47; 0,59]	9	2,55	0,033	9	2,55	0,033
T4-P4	0,61 [0,49; 0,68]	0,59 [0,49; 0,66]	0,72 [0,55; 0,76]	11	2,41	0,048			
C3-P3	0,89 [0,85; 0,92]	0,90 [0,83; 0,94]	0,93 [0,89; 0,95]	11	2,41	0,048	10	2,48	0,04
F3-P3	0,71 [0,55; 0,79]	0,68 [0,55; 0,78]	0,78 [0,71; 0,79]	10	2,48	0,04	-	-	-
T4-C4	0,59 [0,46; 0,74]	0,55 [0,47; 0,66]	0,69 [0,57; 0,79]	0	3,18	0,0045	-	-	-
F3-C3	0,86 [0,85; 0,93]	0,87 [0,84; 0,89]	0,89 [0,87; 0,91]	0	3,18	0,0045	-	-	-
T4-F4	0,47 [0,40; 0,63]	0,45 [0,38; 0,60]	0,62 [0,48; 0,71]	6	2,76	0,02	-	-	-

Примечания к таблице: значения p указаны с учетом поправки по Бонферрони

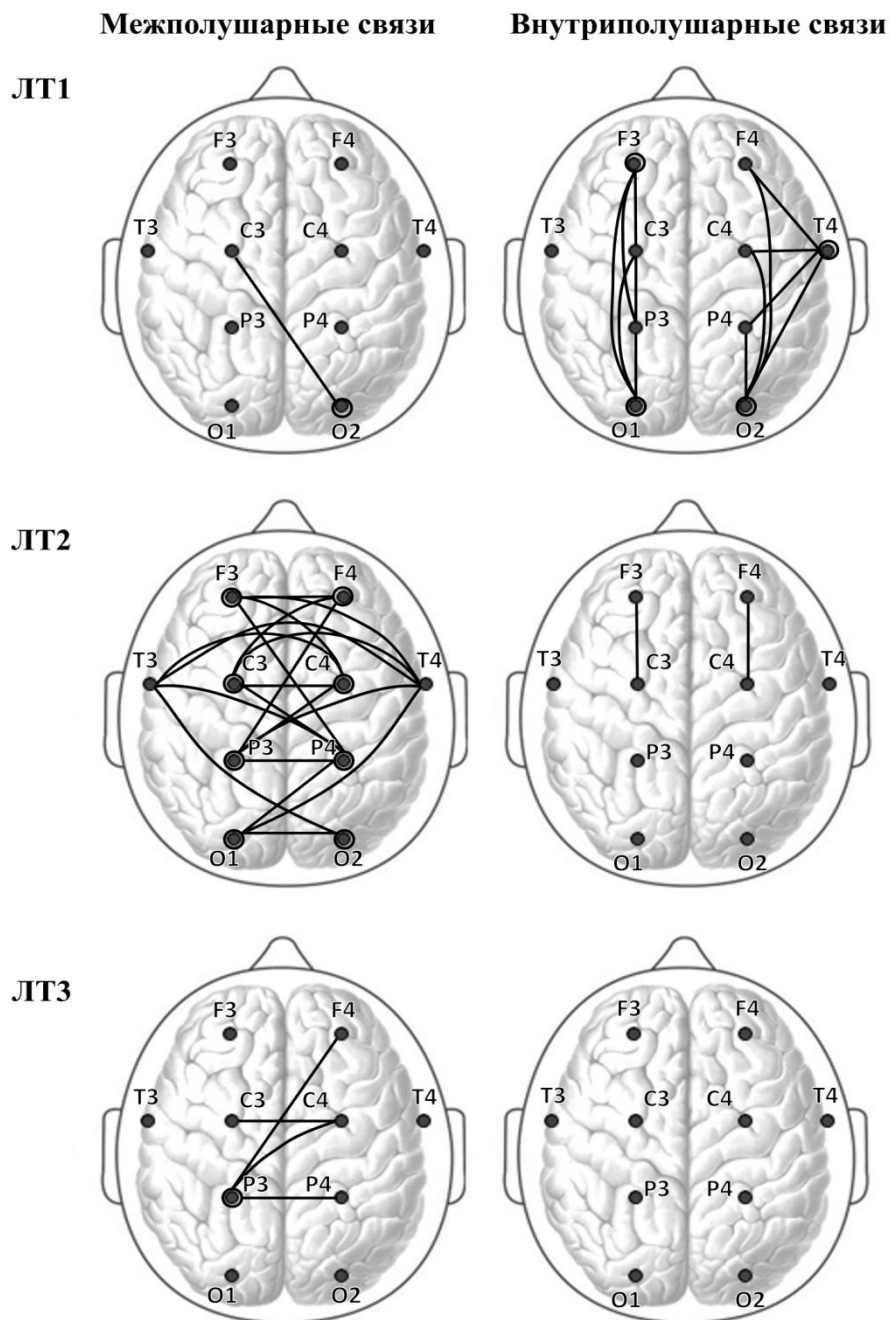


Рисунок 3.2.2. Усиление меж- и внутриполушарных когерентных взаимосвязей потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ при выполнении теста на внимание по сравнению с исходным состоянием при открытых глазах (Ф2 ОГ) у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью.

Примечания к рисунку: представлены только достоверные изменения ($p < 0,05$).

В группе студентов со средним уровнем ЛТ в исходном состоянии при ЗГ (Ф1) отмечалась более высокая, чем при ОГ (Ф2) внутрислошарная когерентность в отведениях Т4-О2 ($T=31$; $Z=2,37$; $p=0,054$), Т3-О1 ($T=22$; $Z=2,77$; $p=0,018$) и F3-С3 ($T=19$; $Z=2,90$; $p=0,012$). При выполнении теста, по сравнению с исходным состоянием при ОГ (Ф2) наблюдалось повышение внутрислошарной когерентности фронтальных и центральных областей коры обоих полушарий, а также межполушарной когерентности большинства (в 19 парах отведений) областей коры (табл. 3.2.5; рис. 3.2.2.).

У индивидов с высокой ЛТ значимых различий уровня когерентности в исходном состоянии при закрытых (Ф1) и открытых (Ф2) глазах не обнаружено (табл. 3.2.6). При выполнении теста по сравнению с предшествующим этапом (Ф2, ОГ) наблюдалось достоверное повышение межполушарной когерентности в системе взаимосвязей с фокусом в отведении P3, а также в отведениях С3-С4 (рис. 3.2.2.).

Таблица 3.2.5.

Различия коэффициентов когерентности тета1-диапазона ЭЭГ у испытуемых со средней личностной тревожностью в исходном состоянии (Ф1- при закрытых; Ф2 - при открытых глазах) и при выполнении теста (Тест); (Ме [25%; 75%]).

Отв. ЭЭГ	Ф1(ЗГ)	Ф2(ОГ)	Тест	Т-критерий Вилкоксона					
				Ф2(ОГ)-Тест			Ф1(ЗГ)-Тест		
				T	Z	p	T	Z	p
O1-O2	0,51 [0,45; 0,66]	0,49 [0,38; 0,64]	0,62 [0,53; 0,70]	13	3,16	0,005	24	2,68	0,021
T3-O2	0,28 [0,25; 0,43]	0,28 [0,18; 0,35]	0,37 [0,27; 0,42]	17	2,98	0,009	-	-	-
P4-O1	0,49 [0,42; 0,59]	0,51 [0,43; 0,56]	0,61 [0,46; 0,66]	10	3,29	0,003	22	2,77	0,017
T4-O1	0,32 [0,18; 0,3]	0,29 [0,21; 0,36]	0,39 [0,31; 0,48]	25	2,64	0,025	29	2,46	0,042
T3-O1	0,63 [0,49; 0,72]	0,54 [0,43; 0,63]	0,62 [0,52; 0,69]	-	-	-	-	-	-
P3-P4	0,61 [0,50; 0,71]	0,61 [0,55; 0,66]	0,70 [0,62; 0,73]	1	3,68	0,0006	18	2,94	0,009
C3-P4	0,56 [0,49; 0,66]	0,58 [0,51; 0,61]	0,64 [0,59; 0,74]	8	3,38	0,0021	11	3,25	0,0036
F3-P4	0,48 [0,32; 0,55]	0,42 [0,39; 0,47]	0,53 [0,42; 0,61]	15	3,07	0,006	-	-	-
T3-P4	0,32 [0,27; 0,51]	0,34 [0,24; 0,40]	0,42 [0,34; 0,50]	12	3,20	0,0042	-	-	-
C4-P3	0,62 [0,51; 0,66]	0,59 [0,55; 0,67]	0,68 [0,63; 0,73]	11	3,25	0,0036	19	2,90	0,0114
F4-P3	0,49 [0,42; 0,58]	0,51 [0,43; 0,55]	0,56 [0,51; 0,63]	18	2,94	0,0117	21	2,81	0,015
T4-P3	0,35 [0,22; 0,44]	0,34 [0,22; 0,43]	0,47 [0,37; 0,51]	8	3,38	0,0021	21	2,81	0,015
C3-C4	0,68 [0,60; 0,77]	0,66 [0,59; 0,72]	0,76 [0,69; 0,80]	6	3,46	0,0015	24	2,68	0,022
F4-C4	0,89 [0,84; 0,92]	0,85 [0,82; 0,93]	0,89 [0,87; 0,92]	20	2,85	0,012	-	-	-
F3-C4	0,64 [0,59; 0,71]	0,62 [0,46; 0,65]	0,70 [0,63; 0,74]	11	3,25	0,0036	-	-	-
T3-C4	0,33 [0,25; 0,49]	0,33 [0,25; 0,48]	0,45 [0,35; 0,50]	23	2,72	0,019	23	2,72	0,019
F4-C3	0,65 [0,51; 0,71]	0,62 [0,53; 0,67]	0,73 [0,66; 0,76]	21	2,81	0,015	25	2,64	0,025
F3-C3	0,89 [0,86; 0,90]	0,86 [0,85; 0,89]	0,88 [0,85; 0,92]	19	2,90	0,0114	-	-	-
T4-C3	0,28 [0,21; 0,40]	0,32 [0,20; 0,42]	0,48 [0,35; 0,51]	18	2,94	0,009	18	2,94	0,009
F3-F4	0,71 [0,66; 0,80]	0,69 [0,65; 0,75]	0,78 [0,74; 0,81]	28	2,50	0,036	-	-	-
T4-F3	0,28 [0,17; 0,37]	0,25 [0,16; 0,32]	0,38 [0,23; 0,44]	28	2,50	0,036	28	2,50	0,036
T3-T4	0,25 [0,21; 0,31]	0,25 [0,16; 0,38]	0,38 [0,32; 0,48]	14	3,11	0,006	-	-	-

Примечания к таблице: значения p указаны с учетом поправки по Бонферрони

Таблица 3.2.6.

Различия коэффициентов когерентности тета1-диапазона ЭЭГ у испытуемых с высокой личностной тревожностью в исходном состоянии (Ф1 - при закрытых; Ф2 - при открытых глазах) и при выполнении теста (Тест); (Ме [25%; 75%]).

Отв. ЭЭГ	Ф1(ЗГ)	Ф2(ОГ)	Тест	Т-критерий Вилкоксона					
				Ф2(ОГ)-Тест			Ф1(ЗГ)-Тест		
				T	Z	p	T	Z	p
P3-P4	0,65 [0,61; 0,73]	0,65 [0,59; 0,68]	0,71 [0,67; 0,76]	2	2,76	0,018	3	2,67	0,023
F3-P4	0,47 [0,43; 0,51]	0,51 [0,44; 0,54]	0,56 [0,49; 0,66]	-	-	-	5	2,49	0,04
T4-P4	0,54 [0,45; 0,64]	0,59 [0,48; 0,67]	0,67 [0,59; 0,71]	-	-	-	3	2,67	0,023
C4-P3	0,63 [0,62; 0,72]	0,64 [0,61; 0,66]	0,69 [0,67; 0,71]	1	2,85	0,012	-	-	-
F4-P3	0,51 [0,44; 0,57]	0,54 [0,49; 0,55]	0,62 [0,57; 0,64]	3	2,67	0,023	-	-	-
T4-P3	0,28 [0,24; 0,39]	0,32 [0,27; 0,39]	0,42 [0,35; 0,50]	-	-	-	3	2,67	0,023
C3-C4	0,77 [0,69; 0,80]	0,72 [0,69; 0,76]	0,79 [0,75; 0,82]	5	2,49	0,04	-	-	-
T4-C4	0,46 [0,34; 0,54]	0,49 [0,41; 0,61]	0,58 [0,56; 0,64]	-	-	-	1	2,85	0,012
T4-C3	0,24 [0,19; 0,32]	0,25 [0,22; 0,37]	0,35 [0,28; 0,48]	-	-	-	1	2,85	0,012
T4-F4	0,36 [0,23; 0,39]	0,39 [0,30; 0,50]	0,47 [0,44; 0,53]	-	-	-	2	2,76	0,018
T3-F4	0,21 [0,15; 0,27]	0,23 [0,16; 0,26]	0,27 [0,21; 0,44]	-	-	-	4	2,58	0,03

Примечания к таблице: значения p указаны с учетом поправки по Бонферрони

В целом результаты когерентного анализа показали, что основные различия между группами испытуемых с разной личностной тревожностью проявлялись в динамике когерентности на этапах обследования.

Наибольшая лабильность структуры когерентных взаимосвязей в тета1-диапазоне ЭЭГ наблюдалась у испытуемых со средним уровнем личностной тревожности. У этих студентов при переходе от исходного состояния с закрытыми глазами к состоянию с открытыми глазами наблюдалось снижение внутриполушарной когерентности, достигавшее достоверного уровня в 3 парах отведений. При тестировании, по сравнению с предшествующим этапом (Ф2, ОГ)

наблюдалось достоверное повышение как внутрислоушарной (2 пары отведений), так и межполушарной когерентности большинства областей коры (в 19 парах отведений).

У испытуемых с низкой ЛТ во время тестирования по сравнению с предшествующим этапом (Ф2, ОГ) отмечалось повышение главным образом внутрислоушарной когерентности потенциалов (11 пар отведений) и межполушарной в 1 паре отведений.

Минимальные изменения уровня когерентности во время тестирования по сравнению с предшествующим этапом (Ф2, ОГ) наблюдались у индивидов с высокой ЛТ, у которых отмечалось значимое повышение межполушарной когерентности в 4 парах отведений.

Глава 4. Характеристика гуморальных показателей слюны параметров ЭЭГ и variability сердечного ритма у испытуемых с разным уровнем тревожности при когнитивной деятельности.

Вторая серия обследования посвящена выявлению особенностей гуморальных механизмов обеспечения когнитивной деятельности у индивидов с разным уровнем тревожности. Одновременно решалась задача выявления взаимосвязей между показателями гормонального статуса, спектральными характеристиками ЭЭГ и ВСР при когнитивной деятельности с учетом фактора тревожности.

Испытуемые (n=35) были разделены на группы в зависимости от уровня личностной (ЛТ) и ситуативной (СТ) тревожности. К группе с низкой ЛТ (ЛТ1, n=11) были отнесены испытуемые с уровнем тревожности в диапазоне 20 – 35, к группе со средней ЛТ (ЛТ 2, n=10) в диапазоне 36 – 40, с высокой ЛТ (ЛТ 3, n=14) в диапазоне 41 – 55 баллов.

К группе с низкой СТ (СТ1, n=9) были отнесены испытуемые с уровнем тревожности в диапазоне 20 – 28, к группе со средней СТ (СТ 2, n=14) в диапазоне 29 – 36, с высокой СТ (СТ 3, n=12) в диапазоне 37 – 50 баллов.

Значимых различий в параметрах результата выполнения теста у испытуемых с разным уровнем ЛТ и СТ не обнаружено (табл. 4.1).

Таблица 4.1.

Результативность и время выполнения теста Струпа, время простой (ПСР) и сложной сенсомоторной реакции (ССР) у испытуемых с низким, средним, и высоким уровнем личностной и ситуативной тревожности, (Me [25%; 75%]).

Показатель	Тревожность	Испытуемые с разным уровнем тревожности		
		Низкий	Средний	Высокий
Количество ошибок	Личностная	35,5 [23,5; 53,5]	37,0 [20,0; 54,0]	44,5 [24,0; 62,0]
	Ситуативная	31,0 [24,0; 59,0]	36,0 [19,0; 52,0]	47,0 [26,0; 61,0]
Время выполнения теста, с	Личностная	624,5 [498,9; 673,8]	698,3 [617,2; 704,9]	683,6 [566,6; 751,7]
	Ситуативная	609,4 [505,7; 674,5]	641,1 [603,1; 681,3]	751,7 [566,6; 781,6]
Время ПСР, мс	Личностная	302,2 [280,5; 311,2]	294,8 [283,3; 311,8]	322,2 [297,0; 333,3]
	Ситуативная	300,2 [279,2; 315,7]	303,2 [283,3; 327,0]	310,0 [272,3; 315,3]
Время ССР, мс	Личностная	429,5 [403,7; 447,5]	439,7 [429,8; 455,7]	430,1 [389,2; 507,7]
	Ситуативная	434,4 [419,9; 456,3]	431,4 [404,2; 455,7]	433,9 [425,5; 483,6]

4.1. Гуморальные корреляты тревожности при когнитивной деятельности

Первый этап нашей работы в рамках 2-й серии обследования посвящен изучению уровня гуморальных показателей слюны таких как кортизол, дегидроэпиандростерон-сульфат, тестостерон и секреторный IgA у испытуемых с учетом фактора тревожности. Обозначенные гуморальные показатели позволяют оценить активность гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси у испытуемых с разным уровнем тревожности при когнитивной нагрузке.

Гуморальные корреляты тревожности у испытуемых с разным уровнем личностной тревожности при когнитивной деятельности

Испытуемые с разным уровнем личностной тревожности достоверно отличались по исходной концентрации ДГЭА-с ($N=29$; $df=2$) ($H=8,51$; $p=0,014$) и соотношению ДГЭА-с/кортизол ($N=29$; $df=2$) ($H=11,44$; $p=0,0033$) в слюне (табл. 4.1.1.).

Апостериорный анализ показал, что у испытуемых со средним уровнем личностной тревожности (ЛТ2) исходная концентрация ДГЭА-с в слюне была достоверно выше, чем у испытуемых с низким уровнем личностной тревожности (ЛТ1) ($U=16$; $Z=-2,70$; $p=0,021$). Исходная концентрация ДГЭА-с в слюне у испытуемых со средним уровнем тревожности была, также, выше и по сравнению с высокотревожными испытуемыми ($U=20,5$; $Z=2,08$; $p=0,031$), но с учетом поправки по Бонферрони ($p=0,093$), это отличие нельзя считать достоверным (Рис. 4.1.1). Достоверных изменений концентрации ДГЭА-с после выполнения теста у испытуемых выделенных групп не обнаружено.

Соотношение ДГЭА-с/кортизол в исходном состоянии было достоверно выше у испытуемых со средним уровнем личностной тревожности (ЛТ2) по сравнению с низкотревожными (ЛТ1) ($U=19$; $Z=-2,53$; $p=0,033$) и высокотревожными (ЛТ3) испытуемыми ($U=7$; $Z=-3,05$; $p=0,007$) и значимо снижалось после выполнения теста ($T=10$; $Z=2,04$; $p=0,04$) (Рис. 4.1.2.).

Таблица 4.1.1.

Гуморальные показатели слюны у испытуемых с низким (ЛТ1), средним (ЛТ2) и высоким (ЛТ3) уровнем личностной тревожности до и после выполнения когнитивного теста. Данные представлены в виде (Me [25%; 75%]).

Показатель в слюне	Испытуемые с разным уровнем тревожности					
	ЛТ1		ЛТ2		ЛТ3	
	До теста	После теста	До теста	После теста	До теста	После теста
Концентрация кортизола (нг/мл)	10,5 [8,3; 16,6]	13,4 [8,83; 39,1]	10,8 [6,9; 13,3]	9,48 [8,5; 14,6]	14,7 [10,2; 15,9]	14,9 [7,5; 24,3]
Концентрация ДГЭА-с (нг/мл)	3,6 [2,8; 3,93]	2,98 [2,7; 3,5]	5,1 * [4,01; 5,7]	4,7 [3,6; 5,04]	3,6 [2,84; 4,2]	3,6 [3,05; 4,5]
Соотношение ДГЭА-с/ кортизол (отн.ед.)	0,29 [0,19; 0,42]	0,29 [0,27; 0,32]	0,58 * [0,43; 0,59]	0,42 [0,25; 0,54]	0,26 [0,24; 0,26]	0,42 [0,29; 0,43]
Концентрация тестостерона (пг/мл)	127,9 [70,7; 153,2]	84,1 [48,3; 152,6]	42,2 [22,9; 110,6]	38,7 [9,2; 138,7]	91,06 [55,4; 168,2]	48,8 [26,08; 79,3]
Концентрация секреторного IgA (нг/мл)	6,7 [1,64; 10,9]	9,3 [5,7; 17,9]	9,8 [3,39; 11,8]	13,8 [9,24; 15,8]	8,9 [4,3; 16,9]	9,7 [6,8; 20,5]

Примечание к таблице: «*» - достоверные отличия ($p < 0,05$) между группами

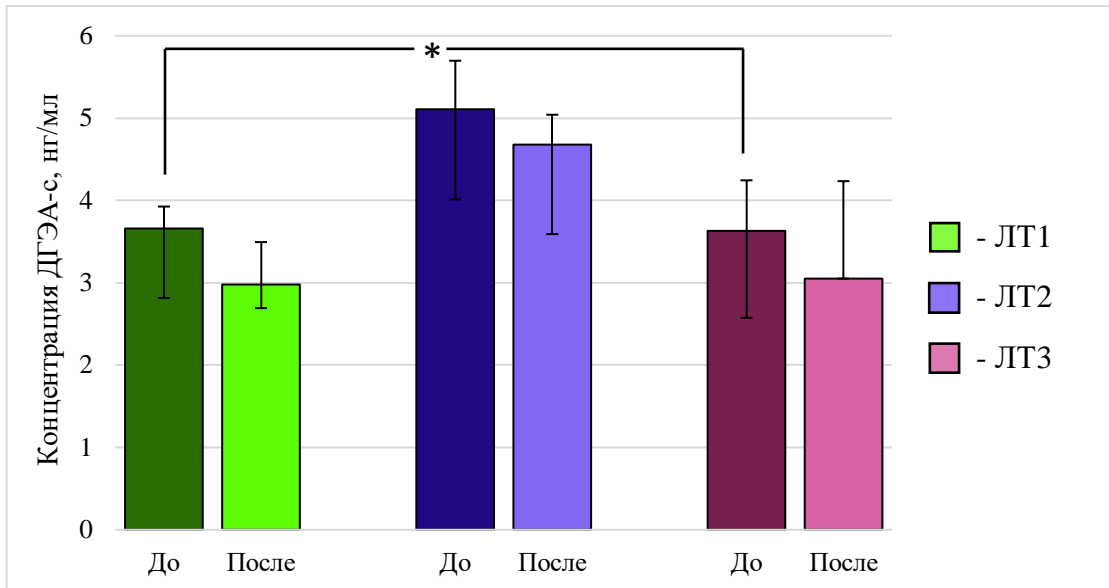


Рисунок 4.1.1. Концентрация *ДГЭА-с* в слюне до и после выполнения теста у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью, нг/мл (Ме [25%; 75%]).

Примечания к рисунку: «*» - достоверные отличия ($p < 0,05$) между группами.

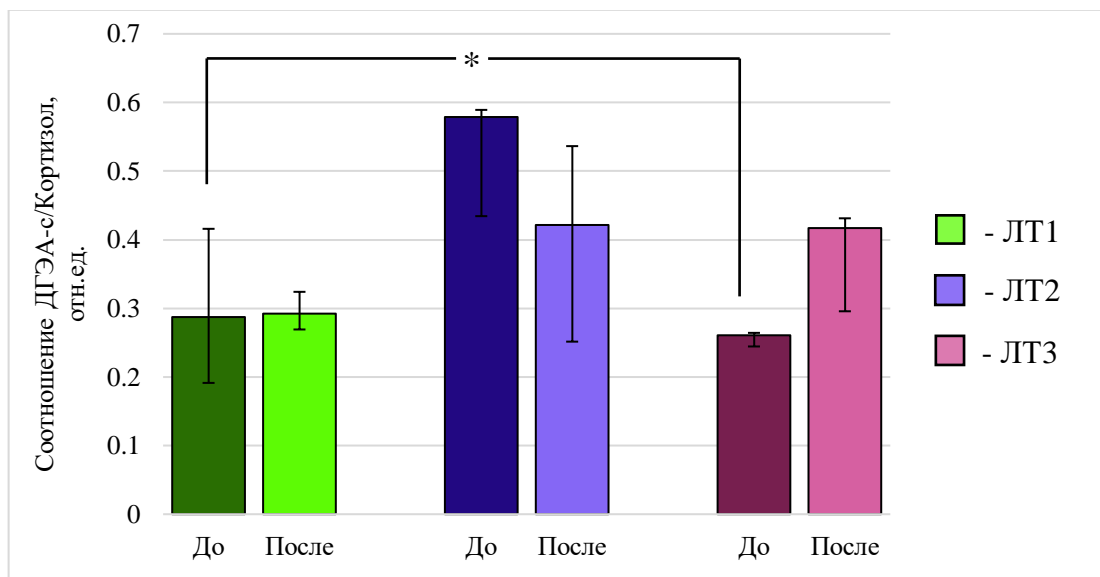


Рисунок 4.1.2. Соотношение *ДГЭА-с/кортизол* в слюне до и после выполнения теста у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью, (отн. ед.). (Ме [25%; 75%]).

Примечания к рисунку: «*» - достоверные отличия ($p < 0,05$) между группами.

Достоверных различий концентрации кортизола, тестостерона и секреторного IgA ни до, ни после тестирования у испытуемых с разной ЛТ не обнаружено.

У всех испытуемых после выполнения теста концентрация тестостерона достоверно снижалась ($T=59$; $Z=3,703$; $p=0,0002$), а концентрация секреторного IgA увеличивалась ($T=91$; $Z=3,53$; $p=0,0004$) по сравнению с исходным уровнем (табл. 4.1.1). Достоверных изменений концентрации кортизола после выполнения теста у испытуемых выделенных групп не обнаружено.

Таким образом, наиболее высокие значения соотношения ДГЭА-с/кортизол перед тестом наблюдались у испытуемых со средней ЛТ и были обусловлены несколько меньшим, чем у испытуемых с высокой ЛТ, содержанием кортизола, а также большим, чем у индивидов с низкой ЛТ, содержанием ДГЭА-с. Общим для испытуемых с разной личностной тревожностью являлось повышение s-IgA и понижение концентрации тестостерона после теста, по сравнению с исходным состоянием.

Гуморальные корреляты тревожности у испытуемых с разным уровнем ситуативной тревожности при когнитивной деятельности

Испытуемые с разным уровнем ситуативной тревожности отличались по исходной концентрации кортизола в слюне ($N=32$; $df=2$) ($H=8,13$; $p=0,017$). Апостериорный анализ показал, что у высокотревожных испытуемых (СТ3) исходная концентрация кортизола была достоверно выше, чем у низкотревожных испытуемых (СТ1) ($U=12,00$; $Z=2,49$; $p=0,039$). Выявлена достоверная положительная корреляционная связь уровня ситуативной тревожности и исходной концентрации кортизола в слюне ($r=0,51$; $p=0,003$).

Группы испытуемых достоверно не отличались по концентрации ДГЭА-с, тестостерона, секреторного IgA и соотношению ДГЭА-с/кортизол ни до, ни после выполнения теста (табл. 4.1.2).

Таблица 4.1.2.

Гуморальные показатели слюны у испытуемых с низким (СТ1), средним (СТ2) и высоким (СТ3) уровнем ситуативной тревожности до и после выполнения когнитивного теста. Данные представлены в виде (Me [25%; 75%]).

Показатель в слюне	Испытуемые с разным уровнем тревожности					
	СТ1		СТ2		СТ3	
	До теста	После теста	До теста	После теста	До теста	После теста
Концентрация кортизола (нг/мл)	7,7 [5,9; 10,5]	8,5 [7,2; 16,3]	12,6 [8,4; 15,9]	13,8 [9,8; 16,3]**	15,3 [13,8; 17,3]*	14,9 [7,9; 19,9]
Концентрация ДГЭА-с (нг/мл)	3,68 [2,98; 5,21]	3,73 [2,69; 4,78]	4,2 [3,6; 5,23]	3,74 [3,18; 4,74]	3,8 [3,4; 5,11]	3,9 [3,05; 4,8]
Соотношение ДГЭА-с/ кортизол (отн. ед.)	0,33 [0,23; 0,64]	0,4 [0,29; 0,58]	0,4 [0,23; 0,56]	0,29 [0,25; 0,36]	0,26 [0,26; 0,58]**	0,42 [0,42; 0,48]
Концентрация тестостерона (пг/мл)	55,4 [43,7; 116,7]	48,3 [32,5; 71,4]	110,1 [47,8; 149,9]	84,8 [33,4; 152,6]	133,2 [37,2; 171,5]	88,5 [12,5; 138,7]
Концентрация секреторного IgA (нг/мл)	11,1 [8,1; 14,9]	14,4 [9,24; 20,5]	4,9 [1,43; 9,4]	11,5 [6,7; 17,9]**	8,49 [1,87; 12,1]	8,36 [6,8; 13,8]

Примечание к таблице: «*» - достоверные отличия ($p < 0,05$) между группами; «**» - достоверные отличия ($p < 0,05$) внутри группы.

У испытуемых со средним уровнем тревожности (СТ2) концентрация кортизола и секреторного IgA в слюне достоверно увеличивались по сравнению с исходным уровнем ($T=19$; $Z=2,10$; $p=0,035$) и ($T=11$; $Z=2,61$; $p=0,009$) соответственно, в то время как у низко- и высокотревожных испытуемых эти показатели не изменялись (табл. 4.1.2).

У высокотревожных испытуемых соотношение ДГЭА-с/кортизол достоверно увеличивалось после теста по сравнению с исходным уровнем ($T=0$; $Z=2,67$; $p=0,008$).

В целом, результаты этого этапа исследования выявили определенные особенности абсолютных значений и динамики в процессе когнитивной деятельности гуморальных показателей слюны у индивидов с разной личностной и ситуативной тревожностью.

Наиболее высокие значения соотношения ДГЭА-с/кортизол перед тестом наблюдались у испытуемых со средней ЛТ и были обусловлены несколько меньшим, чем у испытуемых с высокой ЛТ, содержанием кортизола, а также большим, чем у индивидов с низкой ЛТ, содержанием ДГЭА-с. После теста соотношение ДГЭА-с/кортизол у этих испытуемых значимо уменьшалось. Общим для испытуемых с разной личностной тревожностью являлось повышение s-IgA и понижение концентрации тестостерона после теста, по сравнению с исходным состоянием.

Обнаруженная в нашем исследовании прямая взаимосвязь уровня кортизола и ситуативной тревожности свидетельствует о том, что модулятором секреции кортизола является не столько личностная, сколько именно ситуативная тревожность.

У испытуемых со средней СТ наблюдалась большая, чем у других индивидов, лабильность биохимических показателей в процессе тестирования. Если у испытуемых со средней СТ концентрация кортизола и секреторного IgA после теста достоверно повышалась по сравнению с исходным уровнем, то у индивидов с низкой и высокой СТ эти показатели значимо не изменялись.

4.2. Взаимосвязь спектральных характеристик ЭЭГ и показателей гормонального баланса при когнитивной деятельности с учетом фактора тревожности

Следующий этап нашей работы посвящен анализу спектральных характеристик основных диапазонов ЭЭГ у испытуемых с разным уровнем тревожности, а также изучению их взаимосвязи с динамикой гуморальных показателей слюны.

Характеристики ЭЭГ и результат выполнения теста

Для выявления взаимосвязи результатов выполнения теста с показателями фоновой ЭЭГ проводили корреляционный анализ параметров выполнения теста с характеристиками исходной ЭЭГ, зарегистрированной при закрытых (ЗГ) и открытых (ОГ) глазах.

Количество ошибок, допущенных при выполнении теста положительно коррелировало со спектральной мощностью потенциалов дельта-диапазона ЭЭГ фронтальных областей, относительной спектральной мощностью дельта-диапазона височных и фронтальных областей коры (табл. 4.2.1).

Таблица 4.2.1.

Корреляция количества ошибок при выполнении теста с характеристиками ЭЭГ, зарегистрированной в исходном состоянии при закрытых глазах

Показатель	Отведение ЭЭГ	Коэффициент корреляции	Значение p
Мощность дельта-ритма, мкВ ²	F3	0,398	0,018
	F4	0,372	0,028
Относительная мощность дельта-ритма, %	F3	0,458	0,006
	F4	0,408	0,015
	T3	0,407	0,015
	T4	0,376	0,026
Отношение альфа/дельта, отн.ед.	C4	-0,346	0,042
	F3	-0,404	0,016
	F4	-0,393	0,019
	T3	-0,456	0,006
	T4	-0,429	0,010
Отношение бета1/дельта, отн.ед.	F3	-0,355	0,036
	F4	-0,353	0,037
Отношение бета2/дельта, отн.ед.	F3	-0,338	0,047
	F4	-0,349	0,039

Обнаружена отрицательная корреляция количества ошибок с соотношением мощности альфа/дельта диапазонов ЭЭГ центральных, фронтальных и височных областей, а также бета1/дельта и бета2/дельта диапазонов ЭЭГ фронтальных областей коры (табл. 4.2.1).

Не выявлено корреляции параметров выполнения теста с характеристиками ЭЭГ, зарегистрированной при открытых глазах до и после выполнения теста. Не установлено также корреляции времени выполнения теста с характеристиками ЭЭГ.

В целом проведенный анализ показал, что одним из основных факторов, коррелирующих с количеством ошибок, является относительная спектральная мощность потенциалов дельта-диапазона фоновой ЭЭГ, зарегистрированной при закрытых глазах.

Меньшее количество ошибок при выполнении теста допускали индивиды, у которых в исходном состоянии (при закрытых глазах) наблюдалась меньшая относительная спектральная мощность потенциалов дельта-диапазона ЭЭГ фронтальных и височных областей коры. Одновременно у этих индивидов наблюдались большие значения соотношения спектральной мощности альфа/дельта диапазонов (центральные, фронтальные и височные области), а также бета1/дельта и бета2/дельта диапазонов ЭЭГ фронтальных областей коры.

Характеристики фоновой ЭЭГ, зарегистрированной при закрытых глазах у испытуемых с разным уровнем тревожности

Анализ ЭЭГ, зарегистрированной в исходном состоянии при закрытых глазах показал, что у испытуемых со средней ЛТ наблюдались более высокие, чем у индивидов с низкой и высокой ЛТ значения соотношения мощности потенциалов бета2/дельта диапазонов в центральных, фронтальных и височных областях коры (рис. 4.2.1).

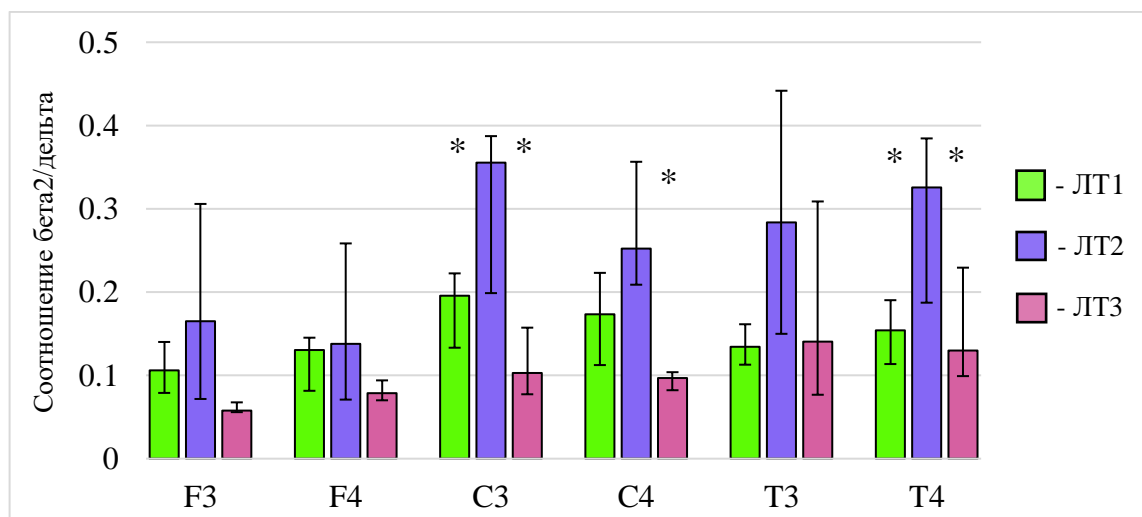


Рисунок 4.2.1. Соотношение мощности потенциалов бета2/дельта диапазонов ЭЭГ левых и правых центральных (С3, С4), фронтальных (F3, F4) и височных (Т3, Т4) отведений (при ЗГ) у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью (отн.ед.) (Me [25%; 75%]).

Примечания к рисунку: «*» - достоверные отличия ($p < 0,05$) между группами.

С использованием критерия Краскела-Уоллеса выявлены достоверные отличия между группами с разной ЛТ по соотношению спектральной мощности бета2/дельта диапазонов в отведениях С3 ($N=35$; $df=2$; $H=11,44$; $p=0,033$), С4 ($N=35$; $df=2$; $H=12,05$; $p = 0,024$), F3 ($N=35$; $df=2$; $H=6,26$; $p=0,044$), и Т4 ($N=35$; $df=2$; $H=11,93$; $p=0,026$).

Апостериорный анализ показал (табл. 4.2.2), что у испытуемых со средней ЛТ соотношение бета2/дельта было достоверно выше, чем у испытуемых с низкой ЛТ в отведениях С3 и Т4, а также выше, чем у испытуемых с высокой ЛТ в отведениях С3, С4, F3 и Т4. Однако, с учетом поправки по Бонферрони различия в отведении F3 не достигали достоверного уровня.

Таблица 4.2.2.

Значимость различий соотношения мощности потенциалов бета2/дельта диапазонов между испытуемыми с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью.

Сравниваемые группы	Отведение ЭЭГ	U	Z	Значение p	Значение p (поправка по Бонферрони)
ЛТ1-ЛТ2	С3	34,0	-2,37	0,016	0,048
ЛТ1-ЛТ2	Т4	27,0	-2,75	0,006	0,018
ЛТ2-ЛТ3	С3	20,0	2,76	0,006	0,018
ЛТ2-ЛТ3	С4	17,0	2,95	0,003	0,009
ЛТ2-ЛТ3	Т4	16,0	3,01	0,0026	0,008
ЛТ2-ЛТ3	F3	30,0	2,14	0,032	-

В первой серии исследования были выявлены определенные особенности спектральных характеристик ЭЭГ у испытуемых с разной личностной тревожностью. В исходном состоянии при закрытых глазах у испытуемых с низкой личностной тревожностью наблюдалась достоверно большая, чем у испытуемых с высокой тревожностью, мощность колебаний тета1- (в затылочных и левой теменной областях) и тета2- (в левой фронтальной и правой височной областях) диапазонов ЭЭГ, а также мощность альфа-диапазона ЭЭГ левой центральной и фронтальных областей коры. Сопоставление этих показателей у индивидов с высокой и низкой личностной тревожностью по результатам второй серии обследования представлены в таблице 4.2.3.

Использование критерия Манна-Уитни показало, что у испытуемых с низкой ЛТ наблюдалась достоверно большая, чем у индивидов с высокой ЛТ мощность потенциалов альфа- и тета2-диапазонов ЭЭГ обеих фронтальных областей коры. Мощность потенциалов тета1-диапазона также была несколько выше у испытуемых с низкой ЛТ, однако достоверного уровня различия не достигали. Меньшая выраженность различий, отмеченная по результатам второй серии, может быть связана с различиями уровня личностной и ситуативной тревожности испытуемых, принявших участие в первой и второй сериях обследования.

Таблица 4.2.3.

Спектральная мощность альфа-, тета1- и тета2-диапазонов ЭЭГ (при закрытых глазах) до выполнения теста у испытуемых с низкой (ЛТ1) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью (Ме [25%; 75%]), мкВ².

Показатель	Отведение ЭЭГ	ЛТ1	ЛТ3	Z	Значение p
Альфа	С3	15,6 [8,9; 30,5]	14,8 [8,2; 20,3]	-	-
	F3	33,9 [26,8; 55,0]	22,4 [21,1; 24,6]	-2,61	0,009
	F4	33,3 [25,3; 60,0]	23,4 [21,3; 27,4]	-2,08	0,038
Тета2	F3	4,8 [3,1; 8,0]	2,9 [2,6; 3,9]	-2,14	0,032
	F4	4,2 [3,2; 7,5]	2,9 [2,6; 4,2]	-2,09	0,038
	T4	5,6 [3,9; 11,7]	4,7 [3,7; 6,2]	-	-
Тета1	O1	5,8 [3,84; 7,1]	4,6 [4,0; 5,1]	-	-
	O2	6,8 [3,9; 8,4]	4,5 [3,6; 5,5]	-	-
	P3	2,4 [1,8; 4,2]	2,3 [1,9; 3,3]	-	-

В группах с *разной ситуативной тревожностью* с использованием критерия Краскела-Уоллеса выявлены различия мощности дельта-ритма ЭЭГ, зарегистрированной в исходном состоянии при закрытых глазах в отведениях С3 ($N=35$; $df=2$; $H=8,89$; $p=0,012$), F3 ($N=35$; $df=2$; $H=6,57$; $p=0,038$) и F4 ($N=35$; $df=2$; $H=7,86$; $p=0,020$); (табл. 4.2.4).

Таблица 4.2.4.

Спектральная мощность дельта-ритма ЭЭГ (при закрытых глазах) до выполнения теста у испытуемых с низкой (СТ1), средней (СТ2) и высокой (СТ3) ситуативной тревожностью (Ме [25%; 75%]), мкВ².

Группы	С3	F3	F4
СТ1	8,41 [6,36; 11,40]	23,23 [20,18; 26,10]	24,50 [20,57; 26,43]
СТ2	6,72 [4,89; 7,70]	20,31 [13,16; 22,45]	17,22 [12,27; 21,09]
СТ3	9,73 [8,17; 12,76]	30,19 [21,36; 41,22]	24,42 [21,98; 32,43]

Апостериорный анализ (критерий Манна-Уитни) показал, что у испытуемых со средней СТ спектральная мощность дельта-ритма при закрытых глазах была значимо ниже, чем у испытуемых с высокой СТ в отведениях С3, F3 и F4. Следует указать, что с учетом поправки по Бонферрони различия в отведении F3 нельзя считать достоверными. (Таблица 4.2.5).

Таблица 4.2.5.

Спектральная мощность дельта-ритма ЭЭГ (при закрытых глазах) до выполнения теста у испытуемых со средней (СТ2) и высокой (СТ3) ситуативной тревожностью. (Me [25%; 75%]), мкВ².

Сравниваемые группы	Отведение ЭЭГ	U	Z	Значение p	Значение p (поправка по Бонферрони)
СТ2-СТ3	C3	23,0	3,11	0,002	0,006
СТ2-СТ3	F3	39,0	2,29	0,020	0,06
СТ2-СТ3	F4	37,0	2,39	0,015	0,045

Наиболее существенными представляются данные о том, что в исходном состоянии при закрытых глазах у испытуемых со средней ЛТ соотношение мощности потенциалов бета2/дельта диапазонов было достоверно выше, чем у испытуемых как с низкой ЛТ (на ЭЭГ левой центральной и правой височной областей), так и с высокой ЛТ (на ЭЭГ обеих центральных и правой височной областей коры). Одновременно у испытуемых со средней СТ спектральная мощность дельта-ритма ЭЭГ передних областей коры при закрытых глазах была значимо ниже, чем у испытуемых с высокой СТ. При этом количество ошибок, допущенных при тестировании, положительно коррелировало с мощностью дельта-ритма и отрицательно с соотношением мощности потенциалов бета2/дельта ЭЭГ ряда областей коры, зарегистрированной в исходном состоянии при ЗГ.

Характеристики ЭЭГ, зарегистрированной при открытых глазах до и после теста у испытуемых с разной ситуативной тревожностью

С целью сопоставления динамики характеристик ЭЭГ и уровня гормонов в слюне сопоставляли значения спектральной мощности потенциалов основных диапазонов ЭЭГ, зарегистрированной при открытых глазах до и после выполнения теста у испытуемых с разным уровнем ситуативной тревожности.

По тесту Краскела-Уоллеса выявлены достоверные отличия между группами ($N=34$; $df=2$) по спектральной мощности бета1-ритма в левом височном отведении ($H=6,92$; $p=0,032$) и бета2-ритма в затылочных и левом височном

отведениях после выполнения теста ($H=11,67$; $p=0,003$), ($H=8,72$; $p=0,013$), ($H=9,87$; $p=0,007$) в отведениях О1, О2 и Т3 соответственно.

Апостериорный анализ (U-критерий Манна-Уитни) с учетом поправки по Бонферрони показал, что у испытуемых со средней СТ спектральная мощность бета1-ритма в левом височном ($U=20$; $Z=-2,71$; $p=0,015$) отведении и бета2-ритма в затылочных ($U=18$; $Z=-2,83$; $p=0,009$ и $U=24$; $Z=-2,46$; $p=0,04$ в О1 и О2 соответственно), и левом височном ($U=12$; $Z=-3,21$; $p=0,002$) отведениях после выполнения теста была значимо выше, чем у испытуемых с низкой СТ. Также у испытуемых со средней СТ спектральная мощность бета2-ритма в левом височном отведении была достоверно выше после выполнения теста, чем у испытуемых с высокой СТ ($U=22$; $Z=3,01$; $p=0,006$). У испытуемых с низкой СТ спектральная мощность бета2-ритма в затылочных отведениях после выполнения теста была значимо ниже, чем у испытуемых с высокой СТ ($U=7$; $Z=-3,23$; $p=0,002$ и $U=13$; $Z=-2,77$; $p=0,012$ в О1 и О2 соответственно); (табл. 4.2.6).

Достоверных различий абсолютных значений мощности потенциалов других диапазонов ЭЭГ, зарегистрированной при открытых глазах у испытуемых с разной СТ не выявлено. Однако, у испытуемых выделенных групп обнаружены особенности динамики спектральной мощности потенциалов альфа- и бета-диапазонов ЭЭГ.

У испытуемых со средним уровнем ситуативной тревожности спектральная мощность альфа1-ритма в правых затылочном, теменном, центральном, обоих фронтальных и левом височном отведениях перед выполнением теста была достоверно (Т-критерий Вилкоксона) ниже, чем после теста (табл. 4.2.6).

Таблица 4.2.6.

Спектральная мощность потенциалов альфа1-, альфа2-, бета1-, бета2-диазонов ЭЭГ (при открытых глазах) до и после выполнения теста у испытуемых с низкой (СТ1), средней (СТ2) и высокой (СТ3) ситуативной тревожностью (мкВ²), (Me [25%; 75%])

Отведения ЭЭГ	СТ1		СТ2		p	СТ3	
	До теста	После теста	До теста	После теста		До теста	После теста
	альфа1-диапазон						
O2	9.7 [3.43; 15.8]	9.7 [2.78; 18.5]	4.6 [3.6; 7.5]	6.24 [4.07; 12.0]	0.041	6.4 [4.6; 9.5]	8.9 [6.4; 10.6]
P4	4.3 [1.57; 9.05]	4.13 [1.58; 15.7]	2.4 [1.4; 5.8]	3.04 [2.2; 6.5]	0.031	3.3 [2.3; 7.4]	5.12 [2.7; 12.7]
C4	3.07 [1.5; 8.7]	2.95 [1.78; 8.4]	2.66 [1.4; 3.5]	2.5 [1.3; 3.6]	0.030	2.3 [1.6; 4.7]	2.5 [1.6; 5.8]
F3	6.9 [3.58; 17.9]	6.3 [4.02; 15.9]	4.8 [3.02; 5.5]	5.4 [3.3; 7.4]	0.048	4.9 [3.9; 5.6]	5.3 [4.2; 10.5]
F4	6.24 [3.6; 19.2]	6.5 [3.9; 17.3]	4.9 [3.2; 5.4]	5.4 [3.5; 7.5]	0.022	4.5 [3.6; 5.14]	5.2 [3.5; 10.5]
T3	6.9 [3.84; 18.1]	6.2 [3.4; 21.3]	6.7 [4.1; 9.2]	6.9 [5.9; 10.7]	0.008	5.9 [4.12; 12.4]	7.8 [5.05; 11.3]
	альфа2-диапазон						
O1	10.6 [3.9; 12.0]	5.5 [4.34; 9.7]	5.7 [3.2; 14.1]	6.7 [4.2; 19.6]	0.036	5.3 [4.27; 13.0]	6.9 [4.6; 15.2]
P3	4.5 [2.5; 7.6]	3.7 [2.3; 6.2]	3.9 [1.5; 7.9]	5.7 [2.4; 7.8]	0.041	4.06 [2.19; 9.3]	3.9 [2.9; 10.3]
T3	6.77 [4.26; 13.5]	5.6 [4.7; 9.5]	5.2 [3.05; 8.9]	7.5 [4.3; 10.3]	0.026	6.5 [3.34; 11.9]	6.14 [4.0; 7.9]
	бета1-диапазон						
O1	3.5 [3.1; 4.5]	3.7 [3.5; 4.8]	5.0 [3.5; 8.1]	5.6 [3.9; 9.6]	0.006	4.9 [3.7; 7.3]	6.4 [4.3; 8.02]
O2	4.2 [3.1; 4.5]	4.4 [3.4; 5.0]	5.5 [3.7; 11.1]	5.7 [4.5; 12.2]	0.006	5.5 [3.8; 9.9]	7.7 [3.8; 12.9]
P3	1.9 [1.3; 2.1]	2.1 [1.2; 2.4]	2.5 [1.4; 4.7]	2.3 [1.8; 5.7]	0.030	2.6 [1.5; 3.7]	3.3 [1.8; 4.6]
P4	2.1 [1.4; 2.6]	2.2 [1.1; 2.8]	2.3 [1.3; 3.7]	2.7 [1.7; 3.4]	0.022	2.4 [1.4; 4.05]	3.1 [1.8; 4.3]
F4	2.7 [2.5; 4.1]	3.1 [2.6; 4.1]	2.6 [1.7; 3.9]	3.27 [1.9; 4.6]	0.041	2.6 [2.4; 3.2]	3.04 [2.4; 4.6]
T3	4.04 [3.4; 4.6]	5.13 [3.02; 6.7]	4.9 [4.03; 8.5]	8.9 [6.7; 12.3]*	0.008	6.1 [3.1; 8.7]	6.4 [3.3; 10.2]
	бета2-диапазон						
O1	1.7 [1.4; 2.0]	1.34 [1.24; 1.7]	1.9 [1.8; 4.04]	2.8 [1.7; 4.4]*	0.013	1.9 [1.3; 3.7]	2.7 [1.9; 4.2]
O2	1.7 [1.34; 1.8]	1.5 [1.2; 1.7]	2.0 [1.2; 4.4]	2.4 [1.7; 3.8]*	-	2.6 [1.2; 4.9]	2.7 [2.02; 3.1]
T3	1.9 [1.3; 2.2]	2.0 [1.6; 2.6]	3.05 [2.2; 4.4]	5.4 [3.4; 10.7]*	0.016	2.7 [1.7; 4.3]	2.8 [1.4; 4.8]

Примечание к таблице: p – значимость различия значений показателей до и после теста (критерий Вилкоксона)

Одновременно у испытуемых со средним уровнем ситуативной тревожности спектральная мощность альфа2-ритма в левых затылочном, теменном и височном отведениях перед выполнением теста была достоверно ниже, чем после теста. У этих же испытуемых спектральная мощность бета1-ритма в затылочных, теменных, левом височном и правом фронтальном отведении перед выполнением теста была достоверно ниже, чем после теста. Также у испытуемых со средним уровнем ситуативной тревожности спектральная мощность бета2-ритма в левых затылочном и височном отведениях достоверно повышалась после выполнения теста по сравнению с исходным уровнем. После теста мощность бета1- (отведение Т3) и бета2- (отведения О1, О2 и Т3) ритмов у испытуемых со средней СТ становилась выше, чем у индивидов с низкой СТ.

В группах испытуемых с низкой и высокой СТ значимых различий мощности потенциалов альфа- и бета-диапазонов ЭЭГ до и после тестирования не обнаружено (табл. 4.2.6).

Таким образом, полученные результаты позволили установить, что в группе испытуемых со средней ситуативной тревожностью, в отличие от индивидов с низкой и высокой СТ, перед выполнением теста мощность потенциалов альфа- и бета-диапазонов ЭЭГ ряда областей коры перед тестом была достоверно меньше, чем после его выполнения. Обращал на себя внимание тот факт, что достоверно меньшая мощность всех четырех исследованных диапазонов наблюдалась на ЭЭГ левой височной области коры (рис. 4.2.2 - 4.2.3).

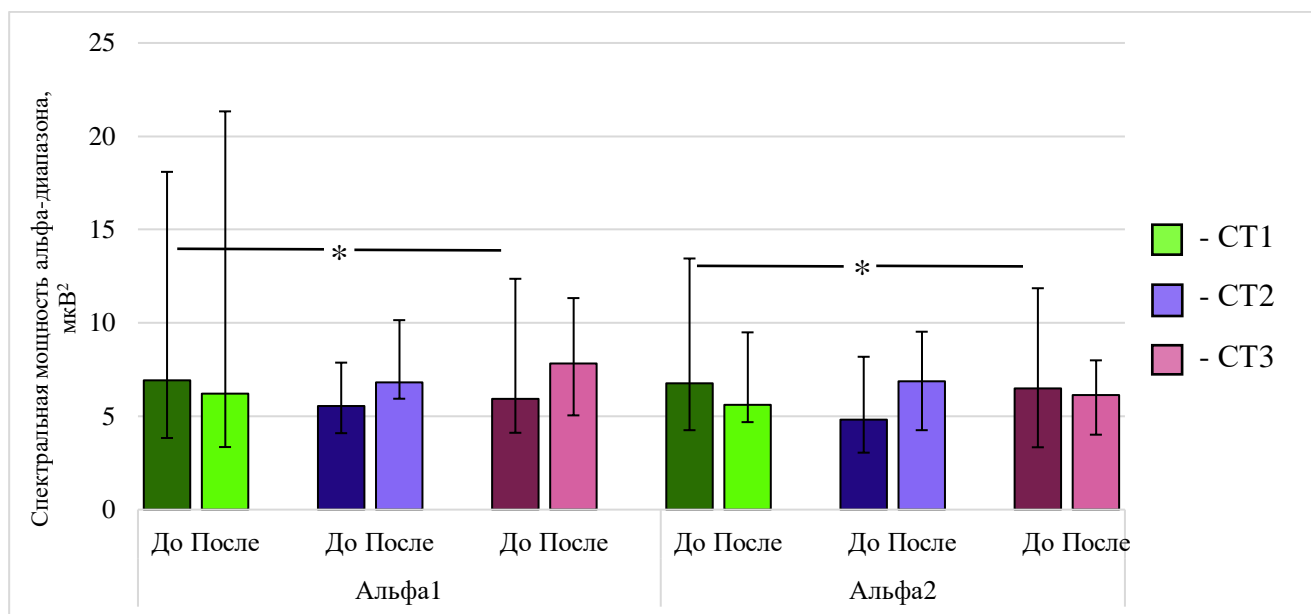


Рисунок 4.2.2. Спектральная мощность потенциалов альфа1- и альфа2-диапазонов ЭЭГ (отведение Т3) до и после теста (при ОГ) у испытуемых с низкой (СТ1), средней (СТ2) и высокой (СТ3) ситуативной тревожностью, $\mu\text{В}^2$ (Ме [25%; 75%]).

Примечания к рисунку: «*» - достоверные отличия ($p < 0,05$) между группами.

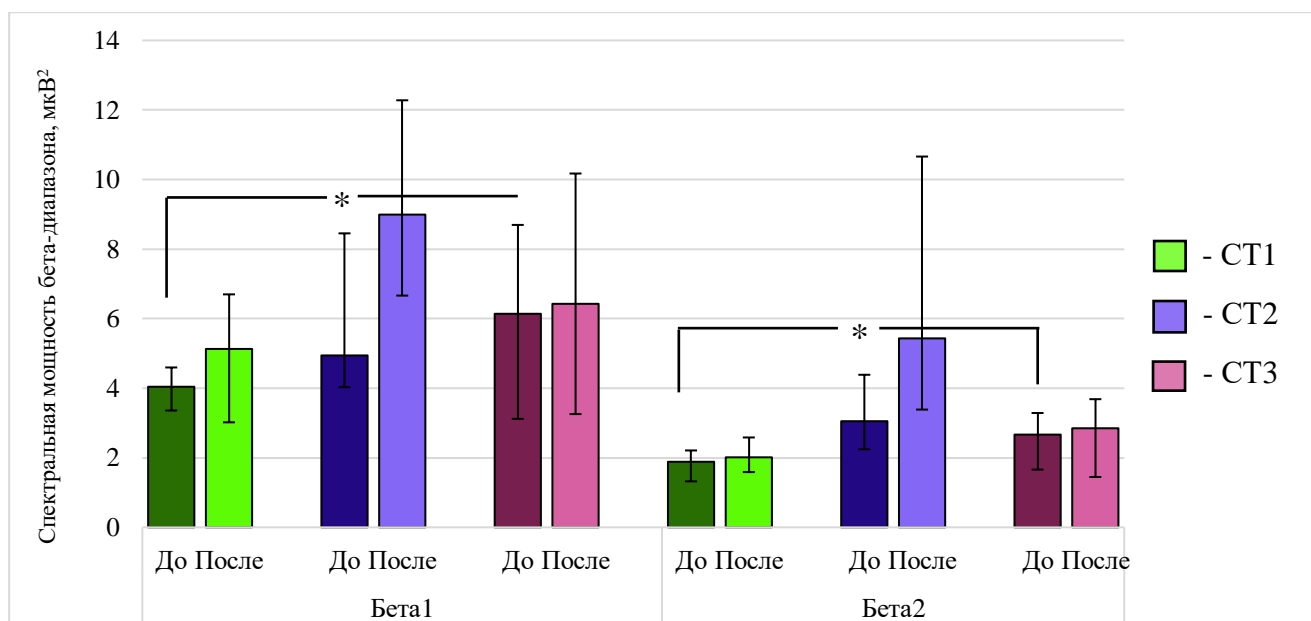


Рисунок 4.2.3. Спектральная мощность потенциалов бета1- и бета2-диапазонов ЭЭГ (отведение Т3) до и после теста (при ОГ) у испытуемых с низкой (СТ1), средней (СТ2) и высокой (СТ3) ситуативной тревожностью, $\mu\text{В}^2$. (Ме [25%; 75%]).

Примечания к рисунку: «*» - достоверные отличия ($p < 0,05$) между группами.

Характеристики ЭЭГ и содержание гормонов в слюне

Для выявления взаимосвязей между характеристиками ЭЭГ и показателями гормонального статуса проводили корреляционный анализ содержания гормонов в слюне до и после теста и спектральной мощности основных ритмов ЭЭГ, зарегистрированной в исходном состоянии (при ОГ и ЗГ) и после выполнения теста (при ОГ).

В исходном состоянии спектральные характеристики ЭЭГ, зарегистрированной как при закрытых, так и при открытых глазах, отрицательно коррелировали с уровнем ДГЭА-с (табл. 4.2.7).

Таблица 4.2.7

Корреляция уровня ДГЭА-с и спектральных характеристик ЭЭГ, зарегистрированной в исходном состоянии при закрытых (ЗГ) и открытых (ОГ) глазах

Показатель	Отведение ЭЭГ	Коэффициент корреляции	Значение p
Мощность тета (ЗГ), мкВ^2	F3	-0,409	0,031
Мощность альфа (ЗГ), мкВ^2	F3	-0,430	0,022
	F4	-0,432	0,022
Мощность бета1 (ЗГ), мкВ^2	F3	-0,448	0,017
	F4	-0,406	0,032
Мощность бета2 (ЗГ), мкВ^2	F3	-0,489	0,008
	F4	-0,472	0,011
Мощность альфа1 (ОГ), мкВ^2	F3	-0,399	0,039
Мощность бета1 (ОГ), мкВ^2	F3	-0,409	0,034
	F4	-0,422	0,028
	T3	-0,423	0,028
Мощность бета2 (ОГ), мкВ^2	F3	-0,447	0,019
	F4	-0,473	0,013

Обнаружена отрицательная взаимосвязь ДГЭА-с с мощностью альфа-, бета1- и бета2-ритмов ЭЭГ (при ЗГ) обеих фронтальной областей и тета-ритма ЭЭГ (при ЗГ) левой фронтальной области коры. Также уровень ДГЭА-с отрицательно коррелировал с показателями ЭЭГ, зарегистрированной в исходном состоянии при открытых глазах. А именно, наблюдалась отрицательная корреляция с мощностью альфа1-ритма левой фронтальной, бета1- обеих

фронтальных и левой височной, а также бета2-ритма ЭЭГ обеих фронтальных областей коры.

После выполнения теста характеристики ЭЭГ (при ОГ) коррелировали с соотношением ДГЭА-с/кортизол (табл. 4.2.8).

Таблица 4.2.8.

Корреляция соотношения ДГЭА-с/кортизол и спектральных характеристик ЭЭГ, зарегистрированной после выполнения теста при открытых глазах.

Показатель	Отведение ЭЭГ	Коэффициент корреляции	Значение p
Мощность тета2, мкВ ²	O1	0,450	0,024
	O2	0,455	0,022
	P3	0,421	0,036
Мощность альфа1, мкВ ²	O1	0,441	0,027
	O2	0,455	0,022
	P3	0,448	0,025
Мощность альфа2, мкВ ²	O1	0,458	0,021
	O2	0,425	0,034
	P3	0,484	0,014
	P4	0,412	0,041
	C3	0,429	0,033
	C4	0,473	0,017
	T4	0,527	0,007

Значения соотношения ДГЭА-с/кортизол положительно коррелировали с мощностью тета2- и альфа1-диапазонов ЭЭГ (при ОГ) обеих затылочных и левой теменной областей, а также альфа2-диапазона ЭЭГ затылочных, теменных, центральных и правой височной областей коры.

Таким образом, характер взаимосвязи показателей ЭЭГ и содержания гормонов в слюне определялся спецификой этапа когнитивной деятельности и, вероятно, опосредован особенностями эмоционально-мотивационной сферы испытуемых. А именно, в ситуации готовности к деятельности меньшая мощность потенциалов тета-, альфа- и бета-диапазонов ЭЭГ фронтальных областей коры наблюдалась у индивидов с большим содержанием ДГЭА-с в слюне. После выполнения когнитивного теста большая мощность альфа и

высокочастотного тета-диапазонов, свидетельствующая о снижении уровня активации коры, наблюдалась у индивидов с более высокими значениями соотношения ДГЭА-с/кортизол в слюне.

4.3. Взаимосвязь характеристик variability сердечного ритма и показателей гормонального баланса при когнитивной деятельности с учетом фактора тревожности

На следующем этапе работы нами была проанализирована динамика параметров variability сердечного ритма у испытуемых с разным уровнем тревожности на этапах деятельности. Показатели ВСР позволяют оценить характер влияний автономной нервной системы на сердечный ритм в различных функциональных состояниях, в том числе и при когнитивной нагрузке. Также оценивалась взаимосвязь показателей ВСР с гуморальными показателями слюны испытуемых.

Характеристики variability сердечного ритма при осуществлении когнитивной деятельности у испытуемых с разным уровнем личностной тревожности

Достоверных отличий характеристик сердечного ритма (Критерий Краскела-Уоллиса) в группах испытуемых с разной ЛТ в исходном состоянии, во время и после теста не обнаружено. Однако, у испытуемых с разной личностной тревожностью выявлены особенности динамики длительности R-R-интервалов и CV на этапах обследования (в исходном состоянии, во время и после теста) (табл. 4.3.1).

У испытуемых с низкой ЛТ значимых изменений характеристик ВСР на этапах обследования не выявлено (Критерий Фридмана).

В группе со средней личностной тревожностью в трех анализированных ситуациях наблюдались различия (Критерий Фридмана) длительности R-R-интервалов ($H=6,50; p=0,039$) и CV ($H=9,39; p=0,009$). Апостериорное сравнение (Т-критерий Вилкоксона), показало, что во время теста длительность R-R-интервалов была достоверно меньшей, чем в исходном состоянии ($T=1,0; Z=2.98;$

$p=0,009$). Одновременно при выполнении теста значимо возрастал CV ($T=12.0$; $Z=2.34$; $p=0,047$). После теста наблюдалось уменьшение CV, однако, с учетом поправки по Бонферрони, оно не достигало значимого уровня (рис. 4.3.1).

У испытуемых с высокой ЛТ в трех анализировавшихся ситуациях достоверно (Критерий Фридмана) различалась длительность R-R-интервалов ЭКГ ($N=7,40$; $p=0,024$). При выполнении теста длительность R-R-интервалов достоверно (Т-критерий Вилкоксона) уменьшалась, по сравнению с исходным состоянием ($T=3.0$; $Z=2.49$; $p=0,038$).



Рисунок 4.3.1. Значения CV (%) у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью до, во время и после выполнения теста. (Me [25%; 75%]).

Примечания к рисунку: «*» - достоверные отличия ($p < 0,05$) внутри группы.

Таким образом, если у испытуемых с высокой личностной тревожностью на этапе выполнения теста уменьшалась длительность R-R-интервалов ЭКГ, то у испытуемых со средним личностной тревожностью, наряду с уменьшением длительности R-R-интервалов, возрастал коэффициент вариации.

Таблица 4.3.1.

Характеристики сердечного ритма у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью до, во время и после теста. Данные представлены в виде (Me [25%; 75%]).

Показатель	Испытуемые с разным уровнем личностной тревожности											
	ЛТ1				ЛТ2				ЛТ3			
	До теста	Во время теста	После теста	До теста	Во время теста	После теста	До теста	Во время теста	После теста	До теста	Во время теста	После теста
RRNN, мс	826,2 [789,5; 925,7]	807,2 [741,2; 891,6]	830,9 [747,3; 909,3]	816,9 [748,7; 876,6]	767,2 [697,9; 840,9]*	793,0 [727,9; 846,5]	863,4 [759,8; 904,7]	787,5 [693,9; 863,2]*	799,6 [762,9; 919,3]			
CV, %	6,31 [5,8; 9,3]	7,33 [6,9; 7,7]	7,66 [6,6; 10,2]	6,5 [5,01; 7,9]	7,5 [6,4; 9,7]*	6,8 [5,9; 8,7]	6,2 [5,2; 6,7]	6,2 [5,3; 7,3]	6,5 [5,6; 7,4]			
TP, мс ²	3551,5 [1948,2; 4644,8]	3013,9 [2484,0; 4446,3]	3696,8 [2442,9; 4955,5]	2638,9 [1475,8; 3938,7]	2725,1 [1633,9; 4468,3]	2506,2 [1410,6; 3313,8]	2294,7 [1370,4; 3096,4]	2292,9 [1383,2; 2802,8]	1989,1 [1822,8; 2808,7]			
HF, мс ²	1423,4 [362,8; 2064,4]	598,6 [331,8; 1553,2]	1521,2 [415,1; 2090,5]	485,7 [293,3; 1208,4]	797,5 [348,7; 1152,1]	521,9 [253,0; 932,0]	617,2 [539,2; 807,1]	576,8 [417,6; 965,9]	460,8 [376,9; 933,9]			
LF, мс ²	1180,2 [706,8; 1848,6]	858,2 [634,5; 1717,9]	1076,1 [709,5; 1497,7]	1000,9 [524,5; 1540,1]	764,9 [508,2; 1844,0]	909,5 [445,8; 1384,2]	875,8 [624,8; 969,3]	689,7 [647,6; 891,8]	1000,2 [739,6; 1158,7]			
VLF, мс ²	400,2 [302,9; 590,2]	565,4 [245,3; 691,4]	524,2 [373,5; 1081,9]	423,9 [242,7; 769,4]	373,3 [312,9; 787,7]	422,6 [185,9; 610,9]	348,4 [286,2; 585,8]	233,9 [120,5; 514,2]	241,5 [175,2; 294,9]			
LF/HF, отн.ед.	0,99 [0,79; 1,74]	1,47 [0,87; 2,3]	1,16 [0,71; 2,26]	1,30 [1,03; 2,18]	1,46 [0,88; 1,65]	1,82 [1,23; 2,06]	1,47 [0,88; 2,03]	1,41 [0,86; 2,08]	2,34 [1,02; 3,11]			

Примечание к таблице: «*» Достоверное изменение характеристик сердечного ритма при выполнении теста, по сравнению с исходным состоянием (p<0.05)

Взаимосвязь характеристик variability сердечного ритма и содержания гормонов в слюне

Выявлены корреляционные взаимосвязи уровня гормонов и характеристик ВСР на этапах обследования (табл. 4.3.2).

Таблица 4.3.2.

Корреляция уровня гормонов в слюне и характеристик сердечного ритма на этапах обследования

Показатель, этап обследования		Коэффициент корреляции	t(N-2)	Значение <i>p</i>
Концентрация гормонов	Показатели ВСР			
<i>До теста</i>	<i>До теста</i>			
ДГЭА-с, (нг/мл)	TP, мс ²	0,379	2,09	0,046
	LF, мс ²	0,431	2,43	0,022
Тестостерон, (пг/мл)	HF, мс ²	0,381	2,22	0,035
	VLF, мс ²	0,400	2,35	0,026
<i>До теста</i>	<i>Во время теста</i>			
ДГЭА-с, (нг/мл)	CV, %	0,390	2,20	0,036
	LF, мс ²	0,433	2,40	0,023
<i>После теста</i>	<i>Во время теста</i>			
ДГЭА-с, (нг/мл)	CV, %	0,495	2,90	0,007
	TP, мс ²	0,385	2,09	0,047
	HF, мс ²	0,391	2,12	0,044
<i>После теста</i>	<i>После теста</i>			
Тестостерон, (пг/мл)	TP, мс ²	0,364	2,11	0,044

В исходном состоянии наблюдалась положительная корреляция ДГЭА-с с общей мощностью (TP) ($r=0,38$; $p=0,046$) и мощностью LF диапазона спектра ВСР ($r=0,43$; $p=0,022$), а тестостерона - с мощностью HF ($r=0,38$; $p=0,035$) и VLF ($r=0,40$; $p=0,026$) диапазонов.

Обнаружена положительная корреляция CV и мощности LF во время тестирования с исходным уровнем ДГЭА-с ($r=0,39$; $p=0,036$) и ($r=0,43$; $p=0,023$) соответственно. Уровень ДГЭА-с после тестирования положительно коррелировал с CV, TP и HF, наблюдавшимися во время выполнения задания ($r=0,49$; $p=0,007$), ($r=0,39$; $p=0,047$) и ($r=0,39$; $p=0,044$) соответственно. После

выполнения задания обнаружена положительная взаимосвязь тестостерона и общей мощности ТР спектра ВСП ($r=0,36$; $p=0,044$).

Выявлены особенности взаимосвязи динамики показателей гормонального баланса и ВСП у испытуемых с различным уровнем тревожности при достижении формально одинаковых результатов когнитивной деятельности (рис. 4.3.2.).

В группе испытуемых с низкой личностной тревожностью при низких исходных значениях концентрации ДГЭА-с и отношения ДГЭА-с/кортизол не выявлено достоверных изменений характеристик сердечного ритма при выполнении теста, по сравнению с исходным состоянием.

У испытуемых со средней личностной тревожностью при высоких исходных значениях концентрации ДГЭА-с и отношения ДГЭА-с/кортизол во время выполнении теста наблюдалось увеличение CV и уменьшение длительности R-R-интервалов.

У индивидов с высокой личностной тревожностью, при низких исходных значениях соотношения ДГЭА-с/кортизол, во время тестирования наблюдалось достоверное уменьшение длительности R-R-интервалов и не отмечалось увеличения CV.

Глава 5. Обсуждение

Проведенное исследование не выявило различий результатов выполнения когнитивных тестов у испытуемых с разным уровнем тревожности. В соответствии с традиционной точкой зрения, наибольшая эффективность деятельности соответствует некоторому среднему, оптимальному уровню тревожности [Хекхаузен Х., 2003]. С другой стороны, известно, что люди с повышенной тревожностью не обязательно менее успешны в решении поведенческих задач. Высокотревожные индивиды способны повысить качество решения поведенческих задач за счет усиления произвольного контроля над вниманием, при этом они вынуждены затрачивать на выполнение заданий больше усилий, чем низкотревожные [Eysenck M.W. et al., 2007]. В ранее опубликованных результатах наших исследований также показано, что испытуемые с высокой и низкой тревожностью не различались по результатам когнитивного теста в обычных условиях, но при этом у испытуемых с высокой тревожностью наблюдалось снижение результата при выполнении теста в условиях помех [Коробейникова И.И. с соавт., 2020].

Отличительной особенностью представляемой работы является то, что исследуются физиологические корреляты когнитивной деятельности у испытуемых с разной тревожностью при достижении ими формально одинакового результата при выполнении когнитивной деятельности в обычных условиях.

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

Для обсуждения выявленных особенностей динамики мощности потенциалов тета1-диапазонов ЭЭГ у индивидов с разной тревожностью следует, во-первых, обратить внимание на тот факт, что тета-активность на ЭЭГ ассоциируют с разными компонентами таких когнитивных процессов, как внимание и память. Увеличение мощности тета-ритма в передних отделах коры

рассматривают как проявление функций «селективно распределенной интегративной тета-системы» связанных с усилением ориентировочной реакции и концентрацией внимания [Basar E. et al., 2001]. С тета осцилляторной системой мозга связывают активацию неспецифического внимания [Мачинская Р.И. с соавт., 2016]. В то же время, полагают, что тета-ответ в ЭЭГ отражает высоко сфокусированное внимание, направленное на конкретную мишень и вызываемое внутренней значимостью определенной стимуляции или ее репрезентации в памяти [Stroganova T.A., Orekhova E.V., 2013; Новикова С.И., 2015]. Рост мощности тета-осцилляций в височных, теменных и затылочных областях коры отмечают при удержании следа в рабочей памяти [Sauseng P. et al., 2009].

Во-вторых, целесообразно, на наш взгляд, обратиться к концепции, в соответствии с которой тревожность рассматривается как особая форма оборонительного поведения, которая тормозит ориентировочно-исследовательскую деятельность [Данилова Н.Н. с соавт., 1995]. Сегодня можно считать установленным, что ориентировочно-исследовательская деятельность животного и человека побуждается особой потребностью в получении новой информации. Одной из детерминант, стимулирующих ориентировочно-исследовательскую деятельность, является неопределенность ранее полученной информации. Цель ориентировочно-исследовательской деятельности в такой ситуации — получить недостающие уточняющие сведения и тем самым снизить неопределенность ситуации [Данилова Н.Н., 2014].

Именно как недостаточно определенную можно охарактеризовать ситуацию, когда в нашем исследовании у испытуемых регистрировали исходную ЭЭГ, после предварительного ознакомления с процедурой обследования, но до конкретной инструкции по выполнению задания (Ф1 при закрытых глазах). Можно полагать, что относительно высокая (не отличающаяся от наблюдавшейся при тестировании внимания) мощность колебаний тета1-диапазона ЭЭГ, характерная в этой ситуации для испытуемых с низкой и средней личностной тревожностью, отражает активацию механизмов неспецифического внимания,

обусловленного преобладанием ориентировочного компонента в структуре мотивации у этих индивидов. Меньшая, чем при тестировании внимания, а также в ряде отведений меньшая, чем у испытуемых со средней и высокой личностной тревожностью, мощность тета1-потенциалов ЭЭГ у испытуемых с высокой тревожностью в ситуации неопределенности обусловлена, вероятно, преобладанием оборонительной формы поведения, тормозящей ориентировочно-исследовательскую деятельность [Данилова Н.Н. с соавт., 1995]. Такие предположения не противоречат приведенным выше данным об ассоциации тета-осцилляций с ориентировочной реакцией [Basar E. et al., 2001], активностью мотивационных лимбических структур и неспецифическим вниманием [Мачинская Р.И. с соавт., 2016]. Однако в нашем исследовании показано, что активация неспецифического внимания как компонента ориентировочно-исследовательской деятельности в ситуации неопределенности, проявляющаяся в высокой мощности тета1-осцилляций ЭЭГ, была характерна для индивидов с низкой личностной тревожностью и не отмечалась у индивидов с высокой тревожностью. По характеру динамики потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ в процессе обследования испытуемые со средним уровнем личностной тревожности занимали промежуточное положение.

Различия мощности потенциалов тета1-, тета2- и альфа-диапазонов, обнаруженные у испытуемых с разной личностной тревожностью, в максимальной степени проявлялись на ЭЭГ, зарегистрированной при закрытых глазах, в условиях ограничения сенсорного притока, являющегося мощным активирующим фактором. Этот факт находит подтверждение в литературе, а именно, специфические отклонения спектральной мощности ЭЭГ у пациентов с тревожно-депрессивным синдромом разных возрастных групп также в наибольшей степени проявлялись на ЭЭГ при закрытых глазах [Шамаева Т.Ф. с соавт., 2018].

При исследовании роли осцилляторных систем мозга в механизмах индивидуальной variability оборонительного рефлекса сердца было

показано вовлечение высокочастотной альфа-активности в механизмы центрального контроля длиннolatентного повышения АД и ЧСС [Афтанас Л.И. с соавт., 2013]. Причем топографически в сопряжение были вовлечены лобные, лобно-центральные и центральные области коры обоих полушарий. Сохраняющаяся «после отмены» угрозы десинхронизация альфа-активности в этих областях коры рассматривается как свойство экстернализации внимания и сканирования окружающего пространства на предмет угрозы.

С учетом этих представлений меньшую мощность колебаний альфа-диапазона ЭЭГ левой центральной и фронтальных областей, характерную для индивидов с высокой тревожностью можно соотнести с активностью оборонительной мотивационной системы. Можно полагать, что меньшая мощность потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ фронтальных и левой центральной областей коры, наблюдавшаяся у испытуемых с высокой личностной тревожностью, отражает активацию и характерное для них усиление внимания к возможным «угрожающим» стимулам, соответствуя преобладанию оборонительной формы поведения [Derryberry, D., Reed, M.A., 2002].

Наблюдаемое у испытуемых всех групп достоверное увеличение мощности потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ при выполнении тестов по сравнению с ситуацией непосредственно предшествующей деятельности (после инструкции, Ф2 при открытых глазах) наблюдавшееся практически во всех областях коры, отражает активацию специфического произвольного внимания и удержание информации в рабочей памяти.

Общим для испытуемых всех групп ЭЭГ коррелятом выполнения теста явилось увеличение мощности бета2-диапазона ЭЭГ правой затылочной области коры. Учитывая, что выполнение компьютерного варианта теста с черно-красными таблицами подразумевает активацию зрительной памяти такое повышение можно рассматривать как ЭЭГ-коррелят модально специфического информационного компонента рабочей памяти, связанного с выполнением зрительно-моторного задания [Palva S. et al., 2011]. Показано повышение

мощности бета2-ритма в обеих затылочных областях коры у испытуемых при воспроизведении на экране монитора последовательности сигналов, также рассматриваемого как коррелят модально-специфического компонента рабочей памяти [Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., 2013].

Помимо общего для всех испытуемых компонента были обнаружены и особенности динамики мощности потенциалов бета2-диапазона при выполнении теста у испытуемых, различающихся по уровню личностной тревожности. С активностью бета2-осцилляторной системы мозга традиционно связывают разные когнитивные процессы, в том числе, внимание и перцепцию [Pulvermüller F., 1997]. В нашем исследовании показано, что увеличение мощности бета2-потенциалов ЭЭГ во всех областях коры (кроме височных) при активации произвольного внимания было характерно для испытуемых с низкой личностной тревожностью, в отличие от индивидов с высокой тревожностью, у которых не наблюдалось роста мощности бета2-потенциалов ЭЭГ ни в одной из областей, кроме правой затылочной. При этом у испытуемых со средней ЛТ наблюдалось повышение мощности бета2-потенциалов ЭЭГ ряда областей коры (затылочных, теменных и височных).

У индивидов с низкой и средней личностной тревожностью активация произвольного внимания и рабочей памяти при выполнении теста была связана с возрастанием мощности потенциалов как тета1-, так и бета2-диапазонов ЭЭГ большинства областей коры. У индивидов с высокой тревожностью при активации произвольного внимания и рабочей памяти отмечалось увеличение мощности потенциалов тета1-диапазона и не наблюдалось роста мощности бета2-потенциалов ЭЭГ большинства областей коры.

Проведенное исследование показало, что у индивидов с разной личностной тревожностью достижение формально одинакового результата при тестировании внимания осуществляется при разной степени вовлечения нейрокогнитивных сетей, осциллирующих в тета1-, альфа- и бета2-диапазонах, обусловленной,

вероятно, соотношением ориентировочного и оборонительного компонентов спектра мотивационной активности.

Учитывая взаимосвязь осцилляций тета-диапазона ЭЭГ с ориентировочно-исследовательской деятельностью, механизмами специфического и неспецифического внимания, а также рабочей памяти [Афтанас Л.И с соавт, 2013; Hansmayr S., Staudigl T., 2014; Мачинская Р.И. с соавт., 2016], очевидно необходимыми при выполнении теста с красно-черными таблицами, для оценки функциональных взаимосвязей областей коры во время тестирования проводили анализ когерентных взаимосвязей именно в полосе тета-ритма ЭЭГ.

По данным литературы, анализ когерентности тета-ритма дал основания полагать, что в реализации памяти принимают участие, по крайней мере, две системы функциональных связей, объединяющих корковые зоны на основе синхронизации их активности по тета-ритму. Одна тета-система связана с активацией мотивационных лимбических структур, в том числе дорзальной части передней цингулярной коры, и обеспечивает функциональную интеграцию этих структур с префронтальной и височной корой при мобилизации неспецифического внимания (мотивационный компонент рабочей памяти). Другая тета-система связана с активацией гиппокампальных структур и обеспечивает функциональную интеграцию гиппокампа и неокортекса при увеличении нагрузки на процессы памяти (мнестический компонент рабочей памяти) [Мачинская Р.И. с соавт., 2016].

Анализ когерентности тета1-ритма, проведенный в нашем исследовании, позволил выявить ее различия, как по абсолютным значениям, так и в динамике у испытуемых с разной личностной тревожностью.

Обнаруженная в нашем исследовании меньшая правополушарная когерентность тета-диапазона ЭЭГ правых передних областей коры в исходном состоянии при закрытых глазах (Ф1) у индивидов с высокой тревожностью, находит некоторые подтверждения в литературе. Приводятся сведения о снижении билатеральных внутрислоушарных взаимодействий по тета-диапазону

в височных отделах коры при высокой личностной тревожности [Hanaoka A. et al., 2005].

В исходном состоянии при открытых глазах (Ф2) межполушарная когерентность в лобных и центральных областях коры у испытуемых с высокой ЛТ была выше, чем у испытуемых с низкой и средней ЛТ. В ЭЭГ человека может быть выделено две функциональные разновидности тета-ритма. Одну, топографически распределенную связывают со снижением уровня бодрствования, утомлением. Другая, максимально выраженная по средней линии в лобно-центральных областях коры, ассоциируется с различной когнитивной деятельностью и эмоциональными состояниями [Афтанас Л.И. с соавт. 2013]. В частности, увеличение мощности тета-ритма ЭЭГ в лобных и центральных областях коры отмечено при привлечении произвольного внимания [Строганова Т.А. с соавт., 1998]. Более высокий уровень функционального взаимодействия по тета-ритму между лобными и центральными областями коры, наблюдающийся у высокотревожных индивидов в исходном состоянии может отражать характерную для них активацию внимания, направленного на выявление возможной угрозы.

Повышение межполушарной когерентности, наблюдавшееся у испытуемых со средней ЛТ проводило к тому, что во время теста различий в уровне межполушарной когерентности тета-диапазона ЭЭГ у испытуемых с высокой и средней ЛТ не отмечалось. При этом различия в уровне межполушарной когерентности по тета-диапазону между испытуемыми с высокой и низкой ЛТ не только сохранялись, но и увеличивались за счет усиления взаимосвязей с фокусом в левой теменной области, наблюдавшегося у индивидов с высокой тревожностью.

Наиболее интересные, на наш взгляд, различия между группами испытуемых с разной личностной тревожностью при достижении формально одинакового результата теста на внимание проявлялись в динамике когерентности потенциалов тета₁-диапазона ЭЭГ на этапах обследования.

Наибольшая лабильность структуры когерентных взаимосвязей в тета1-диапазоне ЭЭГ наблюдалась у испытуемых со средним уровнем личностной тревожности. При переходе от исходного состояния с закрытыми глазами к состоянию с открытыми глазами, отмечалось снижение внутрислоушарной когерентности, достигавшее достоверного уровня билатерально в лобных и затылочных областях, а также в левых лобной и центральной областях коры. При выполнении задания, по сравнению с предшествующим этапом наблюдалось достоверное повышение как внутрислоушарной (билатерально лобные и центральные области), так и межполушарной когерентности большинства областей коры.

Ранее было показано, что одним из факторов, способствующих достижению высокого результата разных видов когнитивной деятельности, является лабильность межцентральных отношений, проявляющаяся в изменении паттерна когерентных взаимосвязей основных диапазонов ЭЭГ [Судаков К.В. с соавт., 2013; Джебраилова Т.Д. с соавт., 2015]. Однако в этих исследованиях не анализировалась роль личностной тревожности. Можно предположить, что высокая лабильность межцентральных взаимоотношений является одним из факторов, способствующих достижению высокого результата у индивидов со средней тревожностью при когнитивной деятельности в осложненных ситуациях, требующих перераспределения когнитивных ресурсов. Однако, это предположение требует проведения специальных исследований.

Минимальные изменения уровня когерентности во время тестирования по сравнению с предшествующим этапом наблюдались у индивидов с высокой личностной тревожностью, у которых отмечалось значимое повышение межполушарной когерентности всего в 4 парах отведений. Полученные результаты позволяют сформулировать перспективную в плане дальнейших исследований гипотезу о том, что инертность структуры когерентных взаимосвязей, отражающая низкую лабильность межцентральных взаимоотношений, может способствовать формированию застойных

стационарных состояний и лежать в основе снижения адаптационных возможностей и результативности когнитивной деятельности у индивидов с высокой тревожностью в усложненных, прежде всего, стрессорных ситуациях.

Во второй серии исследования было обнаружено, что количество ошибок положительно коррелирует со спектральной мощностью дельта-ритма и отрицательно с соотношением мощности бета2/дельта. Обращает на себя внимание тот факт, что у испытуемых со средней ЛТ соотношение мощности бета2/дельта было значимо выше, чем у испытуемых других групп. Также у испытуемых со средней СТ спектральная мощность дельта-ритма в исходном состоянии при закрытых глазах была значимо ниже, чем у испытуемых с высоким уровнем СТ. В литературе приводятся данные о возможной связи низкочастотной составляющей ЭЭГ, в частности дельта-ритма, с активностью субкортикальных отделов головного мозга, в то время как высокочастотная составляющая ЭЭГ – бета-ритм – рассматривается как отражение активности кортикальных структур [Knyazev G.G., 2011; Пашков А.А. с соавт., 2017]. В аспекте тревожности представляет интерес интерпретация *Кустубаевой А.М.*, согласно которой уменьшение соотношения мощности бета/дельта отражает увеличение вклада низкодифференцированных систем в реализацию текущего поведения, что сопряжено с повышенной эмоциональностью и может опосредовать увеличение уровня тревожности [Кустубаева А.М., 2012]. Таким образом, есть основания полагать, что преобладание высокочастотной ритмической составляющей ЭЭГ над низкочастотной у испытуемых со средней тревожностью является их характерной особенностью, отражающей большую функциональную активность коры в анксиогенной ситуации, необходимую для осуществления когнитивной деятельности.

Также в ходе проведенного исследования был выявлен ряд особенностей динамики гуморальных показателей слюны и их взаимосвязь с параметрами ЭЭГ и variability сердечного ритма у испытуемых с разным уровнем тревожности.

В литературе приводятся сведения о том, что ЛТ оказывает модулирующее влияние на секрецию кортизола при выполнении тестовых заданий предположительно в связи с большей активностью оси гипоталамус-гипофиз-кора надпочечников у индивидов с высокой тревожностью [Schlotz W. et al., 2006; Weger M., Sandi S., 2018]. При высоком уровне кортизола возобладают эффекты, опосредуемые ГР [Тодосенко Н.М. с соавт., 2017], что ассоциируется со снижением эффективности деятельности [Juszczak G.R., Stankiewicz A.M., 2018]. Однако результаты других исследований не подтвердили наличие взаимосвязи между тревожностью, секрецией кортизола и выполнением когнитивного теста [Pearman A. et al., 2020]. Кроме того, в ряде работ у испытуемых с высокой личностной тревожностью описывается меньший гуморальный ответ в ситуации ментального стресса, чем у испытуемых с низкой тревожностью. Авторы полагают, что высокая личностная тревожность может быть ассоциирована с невозможностью адекватно мобилизовать гормональные механизмы регуляции в условиях стрессорного воздействия [Jezova D. et al., 2004; Netter P., 2004]. Столь противоречивые данные, на наш взгляд свидетельствуют о нелинейной зависимости между уровнем кортизола и личностной тревожностью. Необходимо отметить, что устойчивая диспозициональная личностная тревожность ситуационно трансформируется в актуальное состояние тревожности [Хеккаузен Х., 2003]. Полученные нами в ходе корреляционного анализа данные, свидетельствующие о прямой положительной связи уровня кортизола с ситуативной тревожностью подтверждают эту гипотезу и дают основания считать уровень именно ситуативной тревожности модулятором секреции кортизола.

С ситуативной тревожностью были связаны не только особенности динамики кортизола, но и s-IgA. У испытуемых со средней ситуативной тревожностью наблюдалась большая, чем у других индивидов, лабильность биохимических показателей в процессе тестирования. Именно у испытуемых со средней СТ отмечалось повышение концентрации кортизола и секреторного IgA в ходе выполнения теста по сравнению с исходным уровнем. В литературе

приводятся сведения о том, что уровень кортизола и секреторного иммуноглобулина А в день соревнований были выше в слюне у спортсменов победителей по сравнению с проигравшими [Paracosta E. et al., 2016]. Также есть данные о том, что подъем уровня s-IgA отмечается при деятельности, в том числе интеллектуальной, и ассоциирован с активацией симпатической нервной системы и повышением уровня кортизола [Ring C. et al., 2005; Paracosta E. et al., 2016]. В то же время в ряде исследований показано увеличение концентрации секреторного IgA в период восстановления после нагрузки [Green M.L. et al., 1988; Nomura S., 2012; Díaz-Silveira C. et al., 2020]. Таким образом, наблюдаемые изменения можно интерпретировать как проявление мобилизации физиологических механизмов обеспечения когнитивной деятельности и восстановления после когнитивной нагрузки, наиболее характерные для индивидов со средней ситуативной тревожностью.

В рамках рассмотрения личностной тревожности в нашем исследовании впервые было показано, что для испытуемых с ее средним уровнем характерно исходно более высокое соотношение ДГЭА-с/кортизол по сравнению с испытуемыми других групп, что было обусловлено меньшим, чем у испытуемых с высокой личностной тревожностью, содержанием кортизола, а также большим, чем у индивидов с низкой личностной тревожностью, содержанием ДГЭА-с. Эти результаты хорошо согласуются с представлениями о соотношении ДГЭА-с/кортизол как важном критерии оптимального гормонального баланса, показателем функционального состояния организма, его устойчивости к когнитивным нарушениям и развитию депрессивных состояний [Гончаров Н.П. с соавт., 2015; Kamin H.S., Kertes D.A., 2017; Leff-Gelman P., 2020].

Учитывая данные об антиглюкокортикоидной активности ДГЭА-с [Maggio M. et al., 2015; Stárka L. et al., 2015; Leff-Gelman, P. et al., 2020], высокие значения соотношении ДГЭА-с/кортизол перед тестированием можно интерпретировать как проявление антиципации и мобилизации, наиболее характерное для индивидов со средней личностной тревожностью. Кроме того, в нашем

исследовании в ситуации готовности к деятельности меньшая мощность потенциалов тета-, альфа- и бета- диапазонов ЭЭГ фронтальных областей коры наблюдалась у индивидов с большим содержанием ДГЭА-с в слюне.

Особый интерес в этой связи представляют данные *Wang* и др. о связи длинного латентного периода P300 у испытуемых при распознавании негативных эмоциональных стимулов и высокого уровня тревожности [*Wang S. et al.*, 2013], который предполагает высокое содержание кортизола [*Do Vale S. et al.*, 2015]. В свою очередь в работах *Do Vale* с соавторами указывается на связь высоких значений соотношения ДГЭА/кортизол у испытуемых перед выполнением задачи на распознавание лиц с негативным эмоциональным выражением в условиях звуковых помех и коротким латентным периодом P300, что по мнению авторов указывает на вовлеченность ДГЭА и его сульфатированной формы в механизмы защиты от интерференции во время осуществления деятельности [*Do Vale S. et al.*, 2015]. Связь этих эндокринных параметров со скоростью обработки мозгом стимулов в негативном эмоциональном контексте позволяет предполагать, что смещение гормонального баланса в сторону преобладания глюкокортикоидной или антиглюкокортикоидной активности отражает изменение количества степеней свободы при изменении вклада низко- или высокодифференцированных систем в реализуемое поведение.

Анализ variability сердечного ритма позволил установить, что индивидам со средним и высоким уровнем личностной тревожности свойственно усиление симпатических влияний на сердечный ритм на этапе выполнения когнитивного теста. Наряду с уменьшением длительности R-R-интервалов, у испытуемых со средней личностной тревожностью наблюдалось увеличение коэффициента вариации. Важным в этом аспекте представляется анализ выявленных особенностей параметров ВСР с позиций биосоциальной модели «вызов или угроза», предполагающей активность двух мотивационных систем, направленных на реализацию поведения совладания или избегания в условиях стресса [*Котов А.В.*, 2006; *Guyon A.J.A.A. et al.*, 2020]. В ряде исследований

показано, что низкотревожные испытуемые склонны оценивать стрессовую ситуацию как вызов, в то время как высокотревожные люди оценивают стрессовую ситуацию как угрозу [Giorgetta C. et al. 2012; Norman R.E. et al., 2015]. В этой связи принято считать, что снижение вариабельности сердечного ритма при информационной нагрузке отражает преобладание оборонительного, а увеличение – ориентировочного-исследовательского компонентов в структуре когнитивной деятельности [Данилова Н.Н., Астафьев С.В. 1999]. Таким образом, данный паттерн вегетативной регуляции у испытуемых со средней личностной тревожностью можно расценивать как свидетельство преобладания ориентировочного компонента деятельности на фоне симпатических влияний на сердце, необходимых для обеспечения оптимального соотношения активности регуляторных систем при осуществлении когнитивной деятельности.

Также обращают на себя внимание данные корреляционного анализа, указывающие на положительную связь между исходной концентрацией ДГЭА-с и CV во время выполнения теста. Важно отметить, что увеличение CV при тестировании было характерно для испытуемых со средним уровнем личностной тревожности. В этой же группе испытуемых в исходном состоянии наблюдались высокие значения концентрации ДГЭА-с и отношения ДГЭА-с/кортизол. Такое соотношение с одной стороны, может свидетельствовать о преобладании у этих индивидов ориентировочного компонента в структуре когнитивной деятельности над дефенсивным. А в совокупности с наблюдаемым при тестировании уменьшением длительности R-R-интервалов, свидетельствующем о симпатической мобилизации, может отражать формирование поведения, направленного на достижение конечной цели через преодоление («совладание»).

Важно отметить, что у индивидов с высокой личностной тревожностью, при низких исходных значениях соотношения ДГЭА-с/кортизол, во время тестирования наблюдалось достоверное уменьшение длительности R-R-интервалов и не отмечалось увеличения CV. Такой тип изменения показателей сердечного ритма при информационной нагрузке рассматривается как проявление

оборонительного компонента в структуре когнитивной деятельности [Данилова Н.Н., Астафьев С.В. 1999].

В то же время в группе испытуемых с низкой личностной тревожностью при низких исходных значениях концентрации ДГЭА-с и отношения ДГЭА-с/кортизол не выявлено достоверных изменений характеристик сердечного ритма при выполнении теста, по сравнению с исходным состоянием. Можно предположить, что такое соотношение показателей ВСП и гормонального баланса связано с относительно меньшей, по сравнению с испытуемыми других групп, активностью обеих основных мотивационных систем, как достижения, так и аверсивной. В пользу этого предположения свидетельствуют данные *Pearman A. et al.*, указывающие на то, что когнитивный тест, возможно, не является достаточным стрессором для группы испытуемых, с чем и связана их низкая реактивность [Pearman A. et al., 2020].

В целом, обнаруженная в нашем исследовании взаимосвязь ДГЭА-с общей мощностью спектра ВСП до и после выполнения теста, а также мощностью HF компонента (после выполнения теста) находит подтверждение в литературе. Показана положительная корреляция между концентрацией ДГЭА-с в сыворотке крови и показателями ВСП, а также мощностью в диапазоне HF ВСП [Lemos M.P. et al., 2019]. Однако, в этом исследовании не выявлено существенной корреляции между концентрациями ДГЭА-с и компонентом LF ВСП, обнаруженная в нашем исследовании у испытуемых перед выполнением теста. Наличие хорошо выраженных волн сердечного ритма во всех трех диапазонах частот и, соответственно, высокая общая мощность спектра характерна для здоровых лиц молодого возраста и рассматривается как свидетельство хорошего текущего функционального состояния и высоких адаптационных возможностей организма человека [Михайлов В.М., 2002]. Высокие исходные значения общей мощности, мощности VLF, LF и HF диапазонов спектра ВСП наблюдались у студентов, достигавших лучших результатов когнитивной деятельности [Джебраилова Т.Д. с соавт., 2013]. Следует согласиться с авторами, отмечающими, что механизмы

воздействия ДГЭА-с на симпатовагальный баланс еще не выяснены и могут быть связаны как с наличием рецепторов для ДГЭА-с на кардиомиоцитах, так и влиянием ДГЭА-с на активность нейронов головного мозга [Dogru M.T. et al., 2010; Lemos M.P. et al., 2019].

Также в нашем исследовании выявлена положительная корреляционная взаимосвязь уровня тестостерона и мощности VLF диапазона спектра ВСП у испытуемых в исходном состоянии. Генез VLF колебаний до сих пор неясен и, вероятнее всего, связан с влиянием надсегментарных (в первую очередь гипоталамических) центров автономной регуляции, может быть обусловлен влиянием эндокринных или гуморальных факторов на синусовый узел [Баевский Р.М. 2006; Myers В., 2016]. При исследовании физиологических коррелятов сенсомоторной деятельности были получены данные, позволяющие рассматривать увеличение мощности VLF диапазона спектра ВСП как коррелят активации произвольного внимания [Джебраилова с соавт., 2013]. В этой связи особый интерес представляют данные о том, что уровень тестостерона положительно связан с активацией процессов селективного внимания, направленных на выявление эмоционально-негативных стимулов как у животных [Lacreuse A. Et al., 2010; King H.M. et al., 2012], так и у людей [Van Honk et al., 1999; Wirth M.M. et al., 2007; Chen C. et al., 2015; Fang H. Et al., 2020]. Таким образом, корреляция уровня тестостерона с мощностью VLF диапазона спектра ВСП в исходном состоянии может указывать на роль этого гормона как фактора, способствующего активации внимания перед выполнением когнитивного теста у испытуемых в состоянии эмоционального напряжения.

Заключение

Согласно теории функциональных систем академика П.К. Анохина (1968; 1975), достижение полезного приспособительного результата деятельности, в том числе когнитивной, обеспечивается взаимодействием и взаимосодействием избирательно вовлеченных в обеспечение поведения компонентов системы. В проведенном исследовании испытуемые с разной выраженностью тревожного компонента спектра мотивационной активности, показателем которой являлись результаты тестирования тревожности, достигали одинакового результата когнитивных тестов. Однако, при этом были выявлены особенности изменения физиологических показателей у индивидов с низким, средним и высоким уровнем тревожности, отражающие вовлеченность разных физиологических механизмов в обеспечение когнитивной деятельности.

Представление о наличии двух базовых мотивационных систем мозга – достижения (положительного подкрепления) и оборонительной (аверсивной) [Lang P.J., Bradley M.M. 2010; Афтанас Л.И. с соавт., 2013] и концепция о тревожности, как особой форме оборонительного поведения, тормозящего ориентировочно-исследовательскую деятельность человека [Данилова Н.Н. с соавт., 1995], дают основания интерпретировать выявленные особенности физиологического обеспечения когнитивной деятельности как проявление различий в соотношении оборонительного (тревожного) или ориентировочно-исследовательского (достижения) компонентов спектра мотивации.

Обобщая результаты первой и второй серий исследования можно выделить наиболее характерные различия физиологического обеспечения когнитивной деятельности у испытуемых с разным уровнем личностной тревожности.

Испытуемые с высокой личностной тревожностью.

Превалирование оборонительного компонента в структуре когнитивной деятельности, характерное для испытуемых с высоким уровнем тревожности,

проявлялось в исходно низкой спектральной мощности альфа (фронтальные области), а также низкими значениями соотношения мощности бета2/дельта диапазонов (центральные и правая височные области) ЭЭГ, зарегистрированной при закрытых глазах. Анализ ЭЭГ, зарегистрированной при открытых глазах непосредственно перед и при выполнении теста показал, что активация произвольного внимания у индивидов с высокой тревожностью была связана преимущественно с увеличением мощности тета1-диапазона ЭЭГ большинства областей коры.

У этих индивидов как в исходном состоянии (при ОГ), так и при выполнении теста отмечалась более высокая, чем у индивидов других групп межполушарная когерентность потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ ряда областей коры, которая может быть обусловлена привлечением ресурсов внимания на выявление возможной потенциальной угрозы. При этом для индивидов с высокой тревожностью была характерна относительная инертностью структуры когерентных взаимосвязей в тета1-диапазоне ЭЭГ при переходе от исходного состояния к этапу выполнения теста на внимание.

У испытуемых с высокой личностной тревожностью при исходно низких значениях соотношения концентрации ДГЭА-с/кортизол в слюне наблюдалось уменьшение длительности R-R-интервалов на этапе выполнения теста на когнитивную гибкость по сравнению с исходным состоянием.

У испытуемых со средним уровнем личностной тревожности отмечают более высокие, чем у индивидов с низкой и высокой тревожностью значения соотношения мощности бета2/дельта диапазонов ЭЭГ, зарегистрированной в исходном состоянии при закрытых глазах. Корреляционный анализ показал, что испытуемые с высоким соотношением бета2/дельта допускали меньшее количество ошибок в тесте на когнитивную гибкость. У испытуемых со средней тревожностью активация произвольного внимания была связана с увеличением, по сравнению с исходным состоянием, мощности потенциалов не только тета1-, но и бета2-диапазона большинства

областей коры. Для этих индивидов характерна высокая лабильность структуры когерентных взаимосвязей в тета1-диапазоне ЭЭГ на этапах обследования, проявляющаяся в увеличении как внутрислоушарной, так и межполушарной когерентности большинства областей коры во время тестирования внимания по сравнению с исходным состоянием.

У испытуемых со средней личностной тревожностью наблюдалась исходно высокая концентрация ДГЭА-с и высокие значения соотношения ДГЭА-с/кортизол в слюне, обусловленные меньшим, чем у испытуемых с высокой ЛТ, содержанием кортизола, а также большим, чем у индивидов с низкой ЛТ, содержанием ДГЭА-с. У этих испытуемых во время выполнения теста, по сравнению с исходным состоянием, наряду с уменьшением длительности R-R-интервалов ЭКГ, отмечалось увеличение CV, которое рассматривают как проявление ориентировочного компонента в структуре когнитивной деятельности [Данилова Н.Н., Астафьев С.В., 1999]. Обнаружена прямая корреляция исходного содержания ДГЭА-с в слюне и значений CV во время тестирования. В целом, такой комплекс изменения физиологических показателей можно интерпретировать как проявление преобладания у индивидов со средней личностной тревожностью в спектре мотивации ориентировочного компонента (системы достижения).

У испытуемых с низкой личностной тревожностью активация произвольного внимания была ассоциирована с возрастанием мощности потенциалов как тета1-, так и бета2-диапазона ЭЭГ большинства областей коры. Для таких индивидов было характерно увеличение преимущественно внутрислоушарной когерентности потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ на этапе выполнения теста по сравнению с исходным состоянием.

В группе испытуемых с низкой личностной тревожностью на фоне низких исходных значений концентрации ДГЭА-с и отношения ДГЭА-с/кортизол не выявлено достоверных изменений характеристик сердечного ритма при

выполнении теста на когнитивную гибкость, по сравнению с исходным состоянием. Можно предположить, что такое соотношение показателей ВСП и гормонального баланса связано с относительно меньшей, по сравнению с испытуемыми других групп, активностью обеих основных мотивационных систем, как достижения, так и аверсивной.

Мотивация, играющая системоорганизующую роль в формировании целенаправленного поведения, оказывает существенное влияние на все стадии центральной архитектоники, поведенческих актов [Анохин П.К., 1968; Судаков К.В., 2008]. Проведенное исследование позволило выявить специфику интеграции исполнительных механизмов физиологического обеспечения когнитивной деятельности в зависимости от выраженности тревожного компонента спектра мотивационной активности при достижении испытуемыми одинакового результата.

Выводы

1. У индивидов с разной личностной тревожностью достижение одинакового результата при тестировании внимания осуществлялось при разной степени вовлечения нейрокогнитивных сетей, осциллирующих в тета1- и бета2-диапазонах ЭЭГ. У испытуемых с высокой личностной тревожностью активация произвольного внимания связана с возрастанием мощности потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ большинства областей коры. У индивидов с низкой и средней личностной тревожностью при активации внимания, наряду с увеличением мощности тета1-диапазона, отмечалось увеличение мощности бета2-потенциалов ЭЭГ большинства областей коры.

2. Большая межполушарная когерентность потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ, характерная для индивидов с высокой личностной тревожностью как в исходном состоянии (по сравнению с испытуемыми со средней и низкой тревожностью), так и при выполнении теста (по сравнению с низкотревожными индивидами) связана с привлечением ресурсов внимания к потенциально угрожающим стимулам.

3. Наибольшая лабильность структуры когерентных взаимосвязей в тета1-диапазоне ЭЭГ, характерная для испытуемых со средним уровнем личностной тревожности, проявлялась в повышении как внутри-, так и межполушарной когерентности большинства областей коры при выполнении теста по сравнению с исходным состоянием.

4. Минимальные изменения функциональных взаимосвязей в тета1-диапазоне во время тестирования внимания по сравнению с предшествующим этапом наблюдались у индивидов с высокой личностной тревожностью, у которых отмечалось усиление межполушарных связей с фокусом в левой теменной области.

5. У испытуемых со средней личностной тревожностью перед выполнением теста на когнитивную гибкость (исходное состояние при закрытых глазах) наблюдалось более высокое, чем у испытуемых как с низкой, так и с высокой

тревожностью, соотношение мощности бета2/дельта диапазонов ЭЭГ (центральных и правой височной областей коры). При этом с исходным соотношением бета2/дельта отрицательно коррелировало количество ошибок, допущенных при тестировании.

6. У испытуемых со средней ЛТ наблюдались наиболее высокие значения соотношения ДГЭА-с/кортизол перед тестом на когнитивную гибкость, обусловленные меньшим, чем у испытуемых с высокой ЛТ, содержанием кортизола, а также большим, чем у индивидов с низкой ЛТ, содержанием ДГЭА-с. У этих испытуемых во время выполнения теста, наряду с уменьшением длительности R-R-интервалов ЭКГ, наблюдалось увеличение CV. Обнаружена прямая корреляция исходного содержания ДГЭА-с в слюне и значений CV во время тестирования.

7. У индивидов с высокой личностной тревожностью, при низких исходных значениях соотношения ДГЭА-с/кортизол, во время тестирования наблюдалось достоверное уменьшение длительности R-R-интервалов и не отмечалось изменения CV. В группе испытуемых с низкой личностной тревожностью при низкой исходной концентрации ДГЭА-с и отношения ДГЭА-с/кортизол не выявлено достоверных изменений характеристик сердечного ритма при выполнении теста, по сравнению с исходным состоянием.

8. У испытуемых со средней СТ наблюдалась большая, чем у других индивидов, лабильность биохимических показателей в процессе тестирования. Если у испытуемых со средней СТ концентрация кортизола и секреторного IgA после теста достоверно повышалась по сравнению с исходным уровнем, то у индивидов с низкой и высокой СТ эти показатели значимо не изменялись. Прямая корреляция исходной концентрации кортизола и ситуативной тревожности свидетельствует о том, что модулятором секреции кортизола является не столько личностная, сколько именно ситуативная тревожность.

Список используемой литературы

1. Абрамец И.И., Кузнецов Ю.В., Евдокимов Д.В., Зайка Т.О. Анализ нейрофизиологических и нейрохимических механизмов субсиндромов поведенческого депрессивного синдрома // Университетская клиника. – 2019. – Т. 31, № 2. – С. 66-79.
2. Александров Ю.И., Сварник О.Е., Знаменская И.И., Колбенева М.Г., Арутюнова К.Р., Крылов А.К., Булава А.И. Регрессия как этап развития / Москва. - 2017. – 191 с.
3. Анохин П. К. Эмоции / БМЭ, 2-е изд.. 1963. - с. 339—358.
4. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса / М.: Медицина, 1968. — 548 с.
5. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем / М:Медицина. 1975. – С.448.
6. Астапов В.М. Функциональный подход к изучению состояния тревоги // Прикладная психология. – 1999. - № 1. - С. 41-48.
7. Астапов В.М., Гасилина А.Н. Генез тревоги и депрессии // Мир психологии. - 2011. – Т. 65, № 1 - С. 225-233.
8. Афтанас Л.И. Павлов С.В. Особенности межполушарного распределения спектров мощности ЭЭГ у высокотревожных индивидуумов в эмоционально-нейтральных условиях и при отрицательной эмоциональной активации // Журн. высш. нерв. деят. - 2005. - Т.55, № 3. - С.322 - 328.
9. Афтанас Л.И., Брак И.В., Рева Н.В., Павлов С.В. Осцилляторные системы мозга и индивидуальная вариабельность оборонительного рефлекса сердца у человека // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2013. – Т. 99. – № 11. – С. 1342-1356.
10. Афтанас Л.И., Рева Н.В., Павлов С.В. Сопряжение осцилляторных систем мозга с когнитивными (переживание и знак) и физиологическими (кардиоваскулярная реактивность) компонентами эмоции // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2014. – Т. 100. – № 2. – С. 215-231.

11. Ахмадеев А.В., Калимуллина Л.Б. Содержание дофамина в миндалевидном комплексе крыс с базовой тревожностью // Междунар. журн. эксперим. образования. - 2011. - № 5. - С. 83.
12. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2001. – № 3. – С. 108-127.
13. Баевский Р.М. Проблема оценки и прогнозирования функционального состояния организма и ее развитие в космической медицине // Успехи физиологических наук. - 2006. - Т. 37. № 3. - С. 42.
14. Базанова О.М. Современная интерпретация альфа-активности электроэнцефалограммы // Успехи физиологических наук. – 2009. – Том 40, №3. – С.32–53.
15. Бахтюков А.А. Шпаков А.О. Молекулярные механизмы стероидогенеза в клетках Лейдига // Цитология. – 2016. – том 58, №9. – С. 666-678.
16. Бахчина А.В., Александров Ю.И. Сложность сердечного ритма при временной системной дедифференциации // Экспериментальная психология. - 2017. - Т. 10, №. 2. - С. 114–130. doi:10.17759/exppsy.2017100210.
17. Бахчина А. В., Демидовский А. В., Александров Ю. И. Соотношение сложности динамики сердечного ритма и Системных характеристик поведения // Психологический журнал. – 2018. – Т. 39, № 5. - С. 46–58.
18. Безруких М.М., Мачинская Р.И., Фарбер Д.А. Структурно-функциональная организация развивающегося мозга и формирование познавательной деятельности в онтогенезе ребенка // Физиология человека. – 2009. – Т. 35, № 6. – С. 10- 24.
19. Вербицкий Е.В. Тревожность и сон // Журнал высшей нервной деятельности. - 2013. – Т. 63, № 1. - С. 6–12. DOI: 10.7868/S0044467713010152
20. Вербицкий Е.В. Взаимоотношения тревоги и сна в эксперименте и клинике // Журнал неврологии и психиатрии. - 2017; Т. 2, №4. – С. 12-18.

21. Гайтон А.К., Холл Дж. Э. Медицинская физиология / М.: Логосфера. – 2018. – С.1328.
22. Глазачев О.С. Синдром эмоционального выгорания у студентов: поиски путей оптимизации педагогического процесса. // Вестник Международной Академии наук (русская секция). – 2011. – Специальный выпуск. – С.26-45.
23. Гончаров Н.П., Каця Г.В., Нижник А.Н. Формула жизни: дегидроэпиандростерон: свойства, метаболизм, биологическое значение / М.: ООО «Издательское товарищество «АДАМАНТЪ». – 2004. – С. 159.
24. Гончаров Н.П., Каця Г.В. Дегидроэпиандростерон: биосинтез, метаболизм, биологическое действие и клиническое применение (аналитический обзор) // Андрология и генитальная хирургия. - 2015. - Т. 16, № 1. - С. 13-22.
25. Грибанов А. В., Кожевникова И. С., Джос Ю. С., Нехорошкова А. Н. Спонтанная и вызванная электрическая активность головного мозга при высоком уровне тревожности // Экология человека. - 2013. - № 1. - С. 39–47.
26. Грибанов А.В., Панков М.Н., Депутат И.С. Нехорошкова А.Н., Старцева Л.Ф., Кожевникова И.С. Нейрофизиологические подходы к оценке тревожности у детей // Современные проблемы науки и образования. – 2018. – № 6. – С. 106.
27. Данилова Н.Н., Коршунова С.Г., Соколов Е.Н., Чернышенко Е.Н. Зависимость сердечного ритма от тревожности как устойчивой индивидуальной характеристики // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. - 1995. - Т. 45. № 4. - С. 647.
28. Данилова Н.Н., Астафьев С.В. Изменение variability сердечного ритма при информационной нагрузке // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. - 1999. - С. 1.
29. Данилова Н.Н., Крылова А.Л. Физиология высшей нервной деятельности / Ростов-на-Дону: Феникс. - 2005. - 478 с.

30. Данилова Н.Н. Роль высокочастотных ритмов электрической активности мозга в обеспечении психических процессов // Психология. Журн. высш. шк. экономики. - 2006. - Т. 3, № 2. - С. 62–72.

31. Данилова Н.Н. Ориентировочно-исследовательская деятельность. Психофизиология. 4-е изд. / Под ред. Ю. И. Александрова. — СПб.: Питер. 2014. С.189.

32. Дегтярев В.П., Торшин В.И. Роль личностной тревожности в формировании успешной учебной деятельности студентов // Вестник РУДН. – 2010. - № 3. – С. 98 – 102.

33. Демин Д. Б. Особенности нейрофизиологического статуса у детей и подростков (обзор литературы) // Экология человека. – 2017. – № 7. – С. 16-24. DOI 10.33396/1728-0869-2017-7-16-24.

34. Депутат И.С., Грибанов А.В., Панков М.Н., Кожевникова И.С., Багрецова Т.В. Тревожность и интеллект в детском возрасте с позиции психофизиологии (обзор) // Вестник Полоцкого Государственного Университета. – 2019. - №7. – С. 61 – 64.

35. Джебраилова Т. Д., Сулейманова Р.Г. Динамика характеристик сердечного ритма у студентов с разной личностной тревожностью во время компьютерного тестирования // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2012. – Т. 153, № 5. – С. 577-581.

36. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И. Пространственная организация бета-2 ритма ЭЭГ и эффективность когнитивной деятельности человека // Журн. высш. нервн. деят. - 2013. - Т.63. № 6. - С. 667.

37. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Дудник Е.Н., Каратыгин Н.А. Вегетативные корреляты индивидуальных различий временных параметров и результативность интеллектуальной деятельности человека // Физиология человека. - 2013. – Т. 39, № 1. - С. 94–102.

38. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Руднева Л.П.. Влияние мотивации на спектральные характеристики ЭЭГ и сердечный ритм у студентов в

экзаменационной ситуации // Российский физиологический журнал им. И.М.Сеченова. – 2014. - Т.100, № 9. - С.1077-1088.

39. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Дудник Е.Н., Каратыгин Н.А. Пространственная организация потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ и эффективность логического мышления // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. - 2015. - Т. 159, № 2. - С. 140-143.

40. Дмитриев Д.А., Саперова Е.В. Вариабельность сердечного ритма и артериальное давление при ментальном стрессе // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. – 2015. – Т. 101, № 1. – С. 98— 107.

41. Дорохов Е.В., Горбатенко Н.П., Павлова Е.А., Япрынцева О.А. Возможности спелеоклиматотерапии в коррекции показателей вариабельности сердечного ритма у здоровых лиц с разным уровнем личностной тревожности // Экология человека. – 2013. - №10. – С. 60 – 64.

42. Зорин Р. А., Медведева Ю. И., Курепина И. С. Лапкин М.М., Жаднов В.А. Вегетативное обеспечение целенаправленной деятельности и её результативность у практически здоровых лиц // Наука молодых (Eruditio Juvenium). – 2019. – Т. 7, № 1. – С. 38-45. – DOI 10.23888/НМЖ20197138-45.

43. Зотов М.В. Механизмы регуляции познавательной деятельности в условиях эмоционального стресса / СПб.: Речь. - 2011. – С. 304.

44. Игнатова Ю. П., Макарова И. И., Аксенова А. В. Психофизиологические и некоторые функциональные маркеры умственной нагрузки у юношей // Физиология человека. – 2018. – Т. 44. – № 4. – С. 26-31. – DOI 10.1134/S0131164618040057.

45. Изнак А.Ф., Изнак Е.В., Мельникова Т.С. Параметры когерентности ЭЭГ как отражение нейропластичности мозга при психической патологии (обзор литературы) // Психиатрия. – 2018. - №2. – С. 127-137.

46. Калуев А.В. Стресс, тревожность и поведение: актуальные проблемы моделирования тревожного поведения у животных / Киев: Изд. КГУ. - 1998.

47. Каратыгин Н.А., Коробейникова И.И., Каратыгина Н.В., Венерина Я.А. Современные представления о связи тета-ритма с процессами внимания // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2021. - Т. 24, № 1. - С. 60–67. DOI: 10.18127/j15604136-202101-09.
48. Карелин А.А. Большая энциклопедия психологических тестов / М.: Эксмо. - 2007. — 416 с.
49. Кичук И.В., Петрова Е.А., Митрофанов А.А., Соловьева Н.В., Вильянов В.Б. Изменения показателей электроэнцефалограммы и концентрации серотонина при депрессивных и тревожных расстройствах // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. - 2016. - Т. 8, № 3. - С. 34-38.
50. Клименко А.В., Перцов С.С., Яковенко И.Ю. Физиологическая цена и успешность целенаправленной деятельности при эндохирургическом тренинге у людей с различной тревожностью // Технологии живых систем. 2019. - Т. 16, №4. - С. 35 – 45. DOI: 10.18127/j20700997-201904-04.
51. Князев Г. Г., Слободская Е. Р., Савостьянов А. Н., Рябиченко Т.И., Шушлебина О.А., Левин Е.А. Активация и торможение поведения как основа индивидуальных различий // Психологический журнал. – 2004. – Т. 25. – № 4. – С. 28-40.
52. Князев Г.Г., Савостьянов А.Н., Левин Е.А., Слободской-Плюснин Я.Ю., Бочаров А.В. Электроэнцефалографические корреляты тревожности // Бюллетень СО РАМН. – 2009. – Т. 135, № 1 (135). – С. 74 – 80.
53. Корниенко Д. С., Козлов А. И., Отавина М. Л. Характеристики психологического благополучия, депрессии и гормональной стрессовой реакции в связи с уровнем тревожности // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - № 4. - С. 332.
54. Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А., Венерина Я.А., Бирюкова Е.В. Пространственные характеристики тета-ритма ЭЭГ при выполнении заданий на концентрацию и скорость переключения внимания в условиях экзогенных помех

у испытуемых с разным уровнем личностной тревожности // Психическое здоровье. – 2020. - № 4. – Р. 3-10. DOI: 10.25557/2074-014X.2020.04.3-1

55. Котельников С.А., Ноздрачев А.Д., Одинак М.М., Шустов Е.Б., Коваленко И.Ю., Давыденко В.Ю. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах // Физиология человека. - 2002. - Т. 28, № 1. - С.130-143.

56. Котов А.В. Мотивация и конфликт в системных механизмах инициации поведенческого акта // Вестник Международной академии наук (Русская секция). - 2006. - № 2. - С. 18-23.

57. Кустубаева А.М. Возрастная динамика ритмов электрической активности мозга. Уровень тревожности и ЭЭГ-индексы // Экспериментальная психология. – 2012. – Т. 5, № 3. – С. 5 – 20.

58. Лапин И.А., Алфимова М.В. ЭЭГ-маркеры депрессивных состояний // Социальная и клиническая психиатрия. - 2014. - Т. 24, № 4. - С. 81-89.

59. Лапкин М.М., Карасев Р.П., Трутнева Е.А., Григоренко Т.М. Кластерный анализ, как метод оценки влияния личностных типологических характеристик на успешность деятельности человека // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. – 2009. – Т. 17, № 1. – С. 141-147.

60. Лапкин М.М., Яковлева Н.В., Прошляков В.Д. Исследование психологических и физиологических детерминант успешности обучения студентов в медицинском вузе // Электронный научный журнал «ЛИЧНОСТЬ В МЕНЯЮЩЕМСЯ МИРЕ: ЗДОРОВЬЕ, АДАПТАЦИЯ, РАЗВИТИЕ». – 2014. – Т.1, №4. – С. 75 – 83.

61. Литвинцев С.В. Успенский Ю.П., Балукова Е.В. Новые возможности терапии тревожных расстройств // Российский психиатрический журнал. – 2007. – № 3. – С. 72-78.

62. Мачинская Р.И. Управляющие системы мозга // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. - 2015. - Т. 65, № 1. - С. 33.

63. Мачинская Р.И., Розовская Р.И., Курганский А.В., Печенкова Е.В. Корково-корковое функциональное взаимодействие при удержании эмоционально окрашенных изображений в рабочей памяти. Анализ когерентности тета-ритма ЭЭГ в пространстве источников. // Физиология человека. - 2016. - Т. 42. №3. - С.56.
64. Методика Горбова «Красно-черная таблица» Альманах психологических тестов / М. - 1995. - с. 117-118.
65. Митрофанов А.А. Компьютерная система анализа и топографического картирования электрической активности мозга с нейрометрическим банком ЭЭГ-данных «Brainsys». Описание применения. Руководство системного оператора. Руководство системного программиста / 2012. – 129 с.
66. Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метода / Иваново: Иван. гос. мед. Академия. - 2002. – С. 290.
67. Муртазина Е.П., Матюлько И.С., Журавлев Б.В., Голубева Н.К. Соматовегетативные компоненты социальных взаимодействий (обзор) // Журн. мед.-биол. исследований. - 2019. - Т. 7, № 3. - С. 349–362. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.3.349
68. Мысин И.Е., Попова И.Ю. Генерация тета-ритма в септо-гиппокампальной системе и эпилепсии // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2019. – Т. 105, № 4. – С. 401–415.
69. Мэй Р. Смысл тревоги / Перев. с англ. М.И. Завалова и А.И. Сибуриной. М.: Независимая фирма “Класс”. - 2001. — 384 с.
70. Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., Джос Ю.С. Проблема тревожности как сложного психофизиологического явления // Экология человека. – 2014. - №6. – С. 47 – 54.
71. Нехорошкова А.Н., Большевидцева И.Л. Нейробиологические предпосылки формирования тревожных состояний // Вестник САФУ. – 2016. - №3. – С. 24 – 36. doi: 10.17238/issn2308-3174.2016.3.24.

72. Новикова С.И. Ритмы ЭЭГ и когнитивные процессы // Современная зарубежная психология. – 2015. – Том 4, №1. – С.91-108.

73. Павлова Л.П. Доминанты деятельности мозга человека. Системный психофизиологический подход к анализу ЭЭГ / Санкт-Петербург: Информнавигатор. – 2017. – С. 432.

74. Пашков А.А., Дахтин И.С., Харисова Н.С. Электроэнцефалографические биомаркеры экспериментально индуцированного стресса // Вестник ЮУрГУ – 2017. - Т. 10, № 4. - С. 68–82. DOI: 10.14529/psy170407.

75. Прихожан А. М. Психология тревожности: дошкольный и школьный возраст / 2-е изд. – Москва [др.]: Питер. - 2007.

76. Прошин А.Т. Сторожева З.И., Болотина О.В. Дофаминовые рецепторы D2 класса нейронов префронтальной коры и нейробиологические механизмы страха и тревоги // Современные проблемы науки и образования. – 2018. – № 5. – С. 209.

77. Психологический словарь /Под общ. ред. А.В. Петровского, М.Г. Ярошевского. - М.: Политиздат. - 1990. - 494 с.

78. Психофизиология: Учебник для вузов. 4-е изд. / Под ред. Ю.И. Александрова. – СПб.: Питер. – 2017. – С. 464.

79. Разумникова О.М. Мышление и функциональная асимметрия мозга/ Новосибирск: Издательство СО РАМН. - 2004b. - 272 с.

80. Распопова Н.И. Тревожно-депрессивные расстройства и патогенетические основы их терапии // Медицина (Алматы). – 2018. – Т. 197, № 11. – С. 93-98. – DOI 10.31082/1728-452X-2018-197-11-93-98.

81. Рогаев Е.И., Боринская С.А. Гены и поведение // Химия и жизнь. XXI век. - 2000. - № 3. - С. 20–25.

82. Сапронов Н.С. Гормоны гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы и мозг / СПб.: Элби-СПб. - 2005. – С. 528.

83. Свидерская Н.Е., Прудников В.Н., Антонов А.Г. Особенности ЭЭГ признаков тревожности у человека // Журнал высшей нервной деятельности. - 2001. - Т.51, №2. - С.158-165.
84. Селье Г. Стресс без дистресса / Г. Селье. – М.: Прогресс. - 1982. – 127 с.
85. Симонов П.В. Эмоциональный мозг / М.: Наука. - 1981. — 215 с.
86. Соловьева С.Л. Тревога и тревожность: теория и практика // Медицинская психология в России: электрон. науч. журн. – 2012. – Т. 6, № 17.
87. Строганова Т.А., Орехова Т.В., Посикера Н.Н. Тета ритм ЭЭГ младенцев и развитие механизмов произвольного контроля внимания на втором полугодии первого года жизни // Журнал Высшей нервной деятельности. – 1998. – Т.48, №6. – С. 945.
88. Судаков К.В.. Избранные труды / М.: НИИНФ им. П.К.Анохина РАМН. Т. 2: Системные механизмы доминирующей мотивации. - 2008. - 484 с.
89. Судаков К.В., Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А. Геометрические образы когерентных взаимоотношений биопотенциалов различных частотных диапазонов ЭЭГ в динамике целенаправленной деятельности человека // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. - 2013. - Т.99, №6. - С.706-718
90. Судаков С.К. Физиологические механизмы предвидения будущего результата целенаправленного поведения // Российский Физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2019. – Т. 105, № 1. – С. 36–42.
91. Тодосенко Н.М., Королева Ю.А., Хазиахматова О.Г., Юрова К.А., Литвинова Л.С. Геномные и негеномные эффекты глюкокортикоидов // Гены и Клетки. - 2017. - Т. 12. № 1. - С. 27-33.
92. Трушина Д.А., Ведясова О.А., Павленко С.И. Пространственная картина ритмов электроэнцефалограммы у студентов-правшей с разными уровнями тревожности в покое и во время экзаменационного стресса // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2016. – №2. – С.141-150.

93. Уварова М.Ю., Кедярова Е.А. Исследование личностной тревожности и мотивации достижения у студентов-первокурсников // Известия Иркутского Государственного Университета. – 2014. – Т. 8. – С. 74 – 86.
94. Узбеков М.Г. Нейрохимические аспекты взаимосвязи моноаминергических и гормональной систем в патогенезе тревожной депрессии // Соц. и клин. психиатрия. - 2005. - № 2. - С. 108–110.
95. Федотова И.Р., Фролов А.А. Организация и регуляция активации структур лимбической системы со стороны септум // Журнал высшей нервной деятельности. – 2015. – Т. 65, № 2. – С. 139–155.
96. Ханин Ю.Л. Краткое руководство к шкале реактивной и личностной тревожности Ч. Д. Спилбергера /Л. - 1976. — 18 с.
97. Ханин Ю.Л. Исследование тревоги в спорте / Ред. А.А. Смирнов, О.А. Конопкин. – 1978. – №6. – С. 94-107.
98. Хекхаузен Х. Мотивация и деятельность / С-П.: Смысл. - 2003. - 860 с.
99. Хомская Е.Д. Регуляция вегетативных компонентов ориентировочного рефлекса с помощью речевых инструкций у больных с различными поражениями мозга // Вопросы психологии. – 1965. - №1.
100. Цветков Е. А., Краснощекова Е. И., Веселкин Н. П., Харазова А. Д. Амигдала: нейроанатомия и нейрофизиология страха // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. – 2015. – Т. 51, № 6. – С. 406-418.
101. Чегодаев Д.А., Павлова Н.В., Львова О.А., Шалькевич Л.В. Электроэнцефалограмма недоношенных новорожденных: от нормы к патологии // Русский журнал детской неврологии. – 2019. – Т. 14, № 1. – С. 26-35. DOI 10.17650/2073-8803-2019-14-1-26-35.
102. Чувилев Н.В. Современное развитие электроэнцефалографии в экспериментальной физиологии // Logos et Praxis. - 2006. - №5.
103. Шамаева Т.Ф., Пронина М.В., Полякова Г.Ю., Поляков Ю.И., Клименко В.М. Электрофизиологические корреляты тревожно-депрессивного

синдрома у пациентов разных возрастных групп // Физиология человека. - 2018. - Т.44. №1. - С.5.

104. Шумилина А.И. Общие свойства и электрофизиологические проявления ориентировочной реакции // Системные механизмы поведения / Под ред. К.В. Судакова и М. Баича. М.: Медицина. – 1990. – с.82.

105. Щербатых Ю.В. Влияние параметров высшей нервной деятельности студентов на характер протекания экзаменационного стресса // Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П. Павлова. - 2000. - № 6. - С. 959–965.

106. Юматов Е.А. Психофизиология эмоций и эмоционального напряжения студентов: Монография // Издательство ИТРК. – 2017. – С.199.

107. Юматов Е. А. Динамическая теория эмоций и системная организация поведения // Вестник Международной академии наук (Русская секция). – 2019. – № 1. – С. 56-65.

108. Adhikari A., Topiwala M.A., Gordon J.A. Synchronized activity between the ventral hippocampus and the medial prefrontal cortex during anxiety // *Neuron*. - 2010. – V. 65, № 2. – P. 257–269.

109. Al-Ezzi A., Kamel N., Faye I., Gunaseli E. Review of EEG, ERP, and Brain Connectivity Estimators as Predictive Biomarkers of Social Anxiety Disorder // *Front Psychol*. – 2020. – V.11. – P. 730. doi: 10.3389/fpsyg.2020.00730.

110. Alvares G.A., Quintana D.S., Kemp A.H., Van Zwieten A., Balleine B.W., Hickie I.B., Guastella A.J. Reduced Heart Rate Variability in Social Anxiety Disorder: Associations with Gender and Symptom Severity // *PloS One*. - 2013. - V. 8, № 7:e70468.

111. Angold A., Costello E.J., Erkanli A., Worthman C.M. Pubertal changes in hormone levels and depression in girls // *Psychol Med*. – 1999. – V. 29, № 5. – P. 1043-1053. doi: 10.1017/s0033291799008946.

112. Basar E., Schurmann M., Sakowitz O. The selectively distributed theta system: functions // *Int. J. Psychophysiol*. - 2001. - V. 39. № 2. - P. 197.

113. Baulieu E.E. Steroid hormones in the brain: several mechanisms? // *Steroid Hormone Regulation of the Brain* / Eds. Fuxe K., Gustaffson J.A., Wetterberg L. Oxford: Pergamon Press. - 1981. - P. 3.
114. Bazanova O.M., Vernon D. Interpreting EEG alpha activity // *Neurosci. Biobehav. Rev.* - 2013.
115. Beauchet O. Testosterone and cognitive function: current clinical evidence of a relationship // *European Journal of Endocrinology.* – 2006. - №155. – P. 773–781.
116. Boss L., Kang D.H., Marcus M., Bergstrom N. Endogenous Sex Hormones and Cognitive Function in Older Adults: A Systematic Review // *Western Journal of Nursing Research.* – 2014. – V. 36, №3. - P. 388–426.
117. Brinkmann L., Buff C., Feldker K., Neumeister P., Heitmann C.Y., Hofmann D., Bruchmann M., Herrmann M.J., Straube T. Inter-individual differences in trait anxiety shape the functional connectivity between the bed nucleus of the stria terminalis and the amygdala during brief threat processing // *NeuroImage.* – 2018. V. 166. – P. 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.10.054>
118. Buckingham J.C. Glucocorticoids: exemplars of multi-tasking // *Br J Pharmacol.* – 2006. - №147, S. 1. – P. 258-268.
119. Buzsáki G. Theta oscillations in the hippocampus // *Neuron.* – 2002. – V. 33, № 3. – P. 325-340. doi: 10.1016/s0896-6273(02)00586-x.
120. Buzsáki G., Kaila K., Raichle M. Inhibition and brain work // *Neuron.* - 2007. - V. 56. № 5. - P. 771–83.
121. Casto K. V., Edward D. A. Testosterone, cortisol, and human competition // *Hormones and Behavior.* – 2016. – V. 82. – P. 21–37. doi: 10.1016/j.yhbeh.2016.04.004.
122. Cavanagh J.F., Shackman A.J. Frontal midline theta reflects anxiety and cognitive control: meta-analytic evidence // *J Physiol Paris.* – 2015. – V.109, № 1-3. – P. 3-15. doi: 10.1016/j.jphysparis.2014.04.003.

123. Charloux A., Piquard F., Ehrhart J., Mettauer B., Geny B., Simon C., Brandenberger G. Time-courses in renin and blood pressure during sleep in humans // *J. Sleep Res.* – 2002. – V. 11. – P. 73—79.
124. Chen C., Chen C.Y., Yang C.Y., Lin C.H., Cheng Y. Testosterone modulates preattentive sensory processing and involuntary attention switches to emotional voices // *J Neurophysiol.* – 2015. – V. 113. – P. 1842–1849. doi:10.1152/jn.00587.2014.
125. Cheremushkin E. A. Petrenko N.E., Yakovenko I.A., Gordeev S.A., Alipov N.N., Sergeeva O.V. Neurophysiological Markers of High Anxiety Level in Man during the Process of Preparing for a Visual Recognition. *Journal of Integrative Neuroscience.* – 2018. – V. 17, №3–4. – P. 377–390. DOI 10.3233/JIN-170074.
126. Contoreggi C. Corticotropin Releasing Hormone and Imaging, Rethinking the Stress Axis // *Nucl Med Biol.* – 2016. – V. 42, № 4. – P. 323–339. doi:10.1016/j.nucmedbio.2014.11.008.
127. Davidson R.J., Irwin W. The functional neuroanatomy of emotion and affective style // *Trends Cogn Sci.* - 1999 V. 3, № 1. – P. 11-21. doi: 10.1016/s1364-6613(98)01265-0.
128. Davis M., Walker D.L, Miles L., Grillon C. Phasic vs sustained fear in rats and humans: Role of the extended amygdala in fear vs anxiety. *Neuropsychopharmacology.* 2010; 35 (1): 105-135. doi: 10.1038/npp.2009.109.
129. Daviu N., Bruchas M.R., Moghaddam B., Sandi C., Beyeler A. Neurobiological links between stress and anxiety // *Neurobiol Stress.* – 2019. – V. 11. – P.100191. doi: 10.1016/j.ynstr.2019.100191.
130. De Kloet E.R., Oitzl M.S., Joels M. Stress and cognition: are corticosteroids good or bad guys? // *Trends Neurosci.* - 1999. – V.22. – P. 422–426.
131. De Kloet E.R. Functional profile of the binary brain corticosteroid receptor system: Mediating, multitasking, coordinating, integrating // *European Journal of Pharmacology.* – 2013. – V. 719. - P. 53–62.

132. Derryberry D., Reed, M.A. Anxiety-related attentional biases and their regulation by attentional control // *J. Abnorm. Psychol.* - 2002. - V.111. № 2. - P.225.
133. Díaz-Silveira C, Alcover CM, Burgos F, Marcos A, Santed MA. Mindfulness versus Physical Exercise: Effects of Two Recovery Strategies on Mental Health, Stress and Immunoglobulin A during Lunch Breaks. A Randomized Controlled Trial // *Int J Environ Res Public Health.* – 2020. – V.17, №8. – P. 2839. doi: 10.3390/ijerph17082839.
134. Dođru M.T., Bařar M.M., Yuvaņç E., Simřek V., Sahin O. The relationship between serum sex steroid levels and heart rate variability parameters in males and the effect of age // *Turk Kardiyol Dern Ars.* – 2010. – V. 38, № 7. – P. 459-65.
135. Dong H.W., Petrovich G.D., Watts A.G., Swanson L.W. Basic organization of projections from the oval and fusiform nuclei of the bed nuclei of the stria terminalis in adult brain // *J. Comp. Neurol.* – 2001. – V. 436, № 4. – P. 430–455.
136. Do Vale S., Selinger L., Martins J.M., Bichof M., Do Carmo I., Escera C. Dehydroepiandrosterone (DHEA) and dehydroepiandrosterone-sulfate (DHEAS) and emotional processing — A behavioral and electrophysiological approach // *Hormones and Behavior.* – 2015. – V.73. – P. 94–103.
137. Durdiakova J., Ostatnikova D., Celec P. Testosterone and its metabolites – modulators of brain functions // *Acta Neurobiol Exp (Wars).* – 2011. – V. 71, №4. – P. 434-454.
138. Eysenck M.W., Derakshan N., Santos R., Calvo M.G. Anxiety and cognitive performance: attentional control theory // *Emotion.* - 2007. - V. 7. № 2. - P. 336–356.
139. Fang H., Li X., Wu Y., Peng W. Single dose testosterone administration modulates the temporal dynamics of distractor processing // *Psychoneuroendocrinology.* – 2020. – V. 104838. doi:10.1016/j.psyneuen.2020.104838.
140. Filová B., Ostatníková D., Celec P., Hodosy J. The effect of testosterone on the formation of brain structures // *Cells Tissues Organs.* – 2013. – V. 197, №3. – P. 169-177. doi: 10.1159/000345567.

141. Giorgetta C., Grecucci A., Zuanon S., Perini L., Balestrieri M., Bonini N., Sanfey A. G., Brambilla P. Reduced risk-taking behavior as a trait feature of anxiety // *Emotion*. – 2012. – V. 12, № 6. – P. 1373–1383.
142. Goldstein D.S., Benthon O., Park M.Y., Sharabi Y., Low-frequency power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes // *Exp. Physiol.* - 2011. – V. 96, № 12. – P. 1255–1261. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2010.056259>.
143. Goodyer I.M., Park R.J., Netherton C.M., Herbert J. Possible role of cortisol and dehydroepiandrosterone in human development and psychopathology // *Br J Psychiatry*. – 2001. – V. 179. – P. 243-249. doi: 10.1192/bjp.179.3.243.
144. Goodyer I.M., Herbert J., Tamplin A. Psychoendocrine antecedents of persistent first-episode major depression in adolescents: a community-based longitudinal enquiry // *Psychol Med*. – 2003. – V. 33, № 4. – P. 601-10. doi: 10.1017/s0033291702007286.
145. Gottschalk M.G., Domschke K. Genetics of generalized anxiety disorder and related traits // *Dialogues Clin Neurosci*. – 2017. – V. 19, № 2. – P. 159-168. doi: 10.31887/DCNS.2017.19.2/kdomschke.
146. Grace A.A. The tonic/phasic model of dopamine system regulation: its relevance for understanding how stimulant abuse can alter basal ganglia function // *Drug and Alcohol Dependence*. - 1995. – V. 37. – P. 111–129.
147. Graziano P., Derefinko K. Cardiac vagal control and children's adaptive functioning: a meta-analysis // *Biol Psychol*. – 2013. – V. 94, № 1. – P. 22-37. doi: 10.1016/j.biopsycho.2013.04.011.
148. Gray J.A., McNaughton N. *The Neuropsychology of Anxiety: An Enquiry into the Functions of the Septo-hippocampal System* / 2nd ed. Oxford University Press, Oxford. – 2000.
149. Green M.L., Green R.G., Santoro W. Daily relaxation modifies serum and salivary immunoglobulins and psychophysiologic symptom severity // *Biofeed-Back Self-Regul*. – 1988. – V.13. – P. 187–199.

150. Guerrero F. R., Heath R. G., Escobar-Juyo A. Corticosubcortical electrophysiological study during the effects of benzodiazepines in patients with panic disorders // *Rev. Neurology*. - 2001. - V. 32, № 4. - P. 321.

151. Guyon A.J.A.A., Studer R.K., Hildebrandt H., Horsch A., Nater U.M., Gomez P. Music performance anxiety from the challenge and threat perspective: psychophysiological and performance outcomes // *BMC Psychology*. – 2020. – V. 87, № 8. - <https://doi.org/10.1186/s40359-020-00448-8>

152. Hakamata Y., Komi S., Moriguchi Y., Izawa S., Motomura Y., Sato E., Mizukami S., Kim Y., Hanakawa T., Inoue Y., Tagaya H. Amygdala-centred functional connectivity affects daily cortisol concentrations: a putative link with anxiety // *Sci Rep*. – 2017. – V. 7, № 1. – P. 8313. doi: 10.1038/s41598-017-08918-7.

153. Hamson D.K., Roes M.M, Galea L.A.M. Sex Hormones and Cognition: Neuroendocrine Influences on Memory and Learning // *Comprehensive Physiology*. – 2016. – V. 6.

154. Hanaoka A., Kikuchi M., Komuro R. EEG coherence analysis in never-medicated patients with panic disorder // *Clin. EEG Neurosci*. - 2005. - V. 36, № 1. - P. 42.

155. Hansmayr S., Staudigl T. How brain oscillations form memories – a processing based perspective on oscillatory subsequent memory effects // *Neuroimage*. – 2014. – V.85, №15. – P. 648 – 655. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.05.121.

156. Hayashi K., Nakao K., Nakamura K. Appetitive and aversive information coding in the primate dorsal raphé nucleus // *J Neurosci*. – 2015. – V. 35, № 15. – P. 6195-208. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2860-14.2015.

157. Heart rate variability. Standards of Measurement. Physiological Interpretation and Clinical Use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology // *Circulation*. - 1996. - V. 93, № 5. - P. 1043.

158. Helfrich R.F., Fiebelkorn I.C., Szczepanski S.M., Lin J.J., Parvizi J., Knight R.T., Kastner S. Neural mechanisms of sustained attention are rhythmic // *Neuron*. – 2018. – V. 99. – P. 854–865.
159. Hildreth K.L., Gozansky W.S., Jankowski C.M., Grigsby J., Wolfe P., Kohrt W.M. Association of Serum Dehydroepiandrosterone Sulfate and Cognition in Older Adults: Sex Steroid, Inflammatory, and Metabolic Mechanisms // *Neuropsychology*. – 2013. – V. 27, №3. – P. 356–363.
160. Hughes S.W., Crunelli V. Thalamic mechanisms of EEG alpha rhythms and their pathological implications // *Neuroscientist*. - 2005. - V. 11. - P. 357–372.
161. Imperatori C., Farina B., Adenzato M., Valenti E.M., Murgia C., Marca G.D., Brunetti R., Fontana E., Ardito R.B. Default mode network alterations in individuals with high-trait-anxiety: An EEG functional connectivity study // *J Affect Disord*. – 2019. – V. 246, № 1. – P. 611-618. doi: 10.1016/j.jad.2018.12.071.
162. Jaiswal S., Tsai S., Juan C., Muggleton N.G., Liang W. Low Delta and High Alpha Power Are Associated with Better Conflict Control and Working Memory in High Mindfulness, Low Anxiety Individuals // *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. - 2019. – V.14, №6. - P. 645–55.
163. Jennings J. R., Heim A. F. From brain to behavior: Hypertension's modulation of Cognition and affect // *Int. J. Hypertens*. – 2012. – V. 701385.
164. Jensen A.R., Rohwer W.D.Jr. The Stroop color-word test: a review // *Acta Psychol (Amst)*. – 1966. – V. 25, № 1. – P. 36-93. doi: 10.1016/0001-6918(66)90004-7.
165. Jezova D., Makatsori A., Duncko R., Moncek F., Jakubek M. High trait anxiety in healthy subjects is associated with low neuroendocrine activity during psychosocial stress // *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*. – 2004. – V. 28. – P. 1331– 1336. doi: 10.1016/j.pnpbp.2004.08.005.
166. Jönsson P. Respiratory sinus arrhythmia as a function of state anxiety in healthy individuals // *Int. J. Psychophysiol*. -2007. – V. 63, № 1. – P. 48—54.
167. Ju Y., Reinelt J., Netto J., Uhlig M., Willenberg A., Ceglarek U., Villringer A., Thiery J., Gaebler M., Kratzsch J. Salivary cortisone, as a biomarker for

psychosocial stress, is associated with state anxiety and heart rate // *Psychoneuroendocrinology*. – 2019. – V. 101. – P. 35–41. doi: 10.1016/j.psyneuen.2018.10.015.

168. Juruena M.F., Erer F., Cleare A.J., Young A.H. The Role of Early Life Stress in HPA Axis and Anxiety // *Adv Exp Med Biol*. – 2020. – V. 1191. – P. 141-153. doi:10.1007/978-981-32-9705-0_9.

169. Juszczak G.R., Stankiewicz A.M. Glucocorticoids, genes and brain function // *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. - 2018 V. 82. – P. 136-168. doi: 10.1016/j.pnpbp.2017.11.020.

170. Kamin H. S., Kertes D. A. Cortisol and DHEA in development and psychopathology // *Hormones and Behavior*. - 2017. - №89. – P. 69–85. doi:10.1016/j.yhbeh.2016.11.018

171. Karst H., Berger S., Erdmann G., Schütz G., Joëls M. Metaplasticity of amygdalar responses to the stress hormone corticosterone // *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* – 2010. – V. 107. – P. 14449–14454. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0914381107>.

172. Kemp A.H., Quintana D.S., Felmingham K.L., Matthews S., Jelinek H.F. Depression, comorbid anxiety disorders, and heart rate variability in physically healthy, unmedicated patients: implications for cardiovascular risk // *PLoS One*. – 2012. – V.7, № 2:e30777. doi: 10.1371/journal.pone.0030777.

173. King H. M., Kurdziel L. B., Meyer J. S., Lacreuse A. Effects of testosterone on attention and memory for emotional stimuli in male rhesus monkeys // *Psychoneuroendocrinology*. – 2012. – V.37, № 3. – P. 396–409. doi:10.1016/j.psyneuen.2011.07.010

174. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis // *Brain Res Brain Res Rev*. – 1999. – V. 29, № 2-3. – P. 169-95. doi: 10.1016/s0165-0173(98)00056-3.

175. Klimesch W., Sauseng P., Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: the inhibition–timing hypothesis // *Brain Research Reviews*. – 2007. – Vol.53. – P.63-88.

176. Klinge C.M., Clark B.J., Prough R.A. Dehydroepiandrosterone Research: Past, Current, and Future // *Vitam Horm.* – 2018. - №108. – P. 1-28. doi: 10.1016/bs.vh.2018.02.002.
177. Knott V.J., Lapierre Y.D., 1988. Neuropsychophysiological correlates of lactate-induced panic // *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry.* – 1988. – V. 12, 183–192.
178. Knyazev G. G., Savostyanov A. N., Levin, E. A. Uncertainty, anxiety, and brain oscillations // *Neuroscience Letters.* – 2005. – V. 387, № 3. P. 121–125. doi:10.1016/j.neulet.2005.06.016
179. Knyazev, G. G. Motivation, emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews.* - 2007. – V. 31, № 3. – P. 377–395. doi:10.1016/j.neubiorev.2006.10.004
180. Knyazev G.G. Cross-frequency coupling of brain oscillations: an impact of state anxiety // *Int J Psychophysiol.* – 2011. – V. 80, № 3. – P. 236-45. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.03.013.
181. Knyazev G.G. EEG delta oscillations as a correlate of basic homeostatic and motivational processes // *Neurosci Biobehav Rev.* – 2012. – V. 36, № 1. –P. 677-95. doi: 10.1016/j.neubiorev.2011.10.002.
182. Knyazev G.G., Savostyanov A.N., Bocharov A.V., Rimareva J.M. Anxiety, depression, and oscillatory dynamics in a social interaction model // *Brain Res.* – 2016. – V. 1644. – P. 62-69. doi: 10.1016/j.brainres.2016.04.075.
183. Kobiella A., Vollstädt-Klein S., Bühler M., Graf C., Buchholz H.G., Bernow N., Yakushev I.Y., Landvogt C., Schreckenberger M., Gründer G., Bartenstein P., Fehr C., Smolka M.N. Human dopamine receptor D2/D3 availability predicts amygdala reactivity to unpleasant stimuli // *Human Brain Mapping.* - 2010. - V. 31, № 5. - P. 716-26.
184. Koch C., Wilhelm M., Salzmann S., Rief W., Euteneuer F. A meta-analysis of heart rate variability in major depression // *Psychol Med.* – 2019. – V.49, №12. – P. 1948-1957. doi: 10.1017/S0033291719001351.

185. Lacey J.I., Lacey B.C. Some autonomic-central nervous system interrelationships / Physiological correlates of emotion. N.-Y.-London.: Acad. Press. - 1970. - P. 205-227
186. Lacreuse A., King H. M., Kurdziel L. B., Partan S. R., Caldwell K. M., Chiavetta M. R., Grow D. R. Testosterone may increase selective attention to threat in young male macaques // *Hormones and Behavior*. – 2010. – V. 58, № 5. – P. 854–863. doi:10.1016/j.yhbeh.2010.08.010.
187. Lambertz M., Langhorst P. Simultaneous changes of rhythmic organization in brainstem neurons, respiration, cardiovascular system and EEG between 0.05 Hz and 0.5 Hz // *J. Auton. Nerv. Syst.* – 1998. – V. 68. – P. 58–77.
188. Lambertz M., Vandenhouten R., Grebe R., Langhorst P. Phase transitions in the common brainstem and related systems investigated by nonstationary time series analysis // *J. Auton. Nerv. Syst.* – 2000. – V. 78. – P. 141–157.
189. Lang P.J., Bradley M.M. Emotion and the motivational brain // *Biol Psychol.* – 2010. – V. 84, № 3. P. 437-50. doi: 10.1016/j.biopsycho.2009.10.007.
190. Lazarus R.S. Progress on a cognitive-motivational-relational theory of emotion // *Am Psychol.* – 1991. – V. 46, № 8. – P. 819-834. doi: 10.1037//0003-066x.46.8.819.
191. Lazarus R.S. Coping theory and research: past, present, and future // *Psychosom Med.* – 1993. - V. 55, № 3. – P. 234-247. doi: 10.1097/00006842-199305000-00002.
192. Lebron-milad K., Milad M. R. Sex differences, gonadal hormones and the fear extinction network : implications for anxiety disorders // *Biology of Mood & Anxiety Disorders*. – 2012. – V. 2, № 3 - P. 1–12.
193. Leff-Gelman P., Flores-Ramos M., Carrasco A.E.Á. Cortisol and DHEA-S levels in pregnant women with severe anxiety. - *BMC Psychiatry*. – 2020. – №20. – P. 393. <https://doi.org/10.1186/s12888-020-02788-6>.
194. Lemos M.P., Miranda M.T., Marocolo M., de Resende E.A., Chrigrer R.S., de Sordi C.C., Neto O.B. Low levels of dehydroepiandrosterone sulfate are associated

with the risk of developing cardiac autonomic dysfunction in elderly subjects // *Arch Endocrinol Metab.* – 2019. – V. 63, № 1. – P. 62-69.

195. Lesting J., Daldrup T., Narayanan V., Himpe C., Seidenbecher T., Pape H. C. Directional theta coherence in prefrontal cortical to amygdalo-hippocampal pathways signals fear extinction // *PLoS One.* - 2013. – V. 8:e77707.

196. Leung L.S., Yim C.Y. Rhythmic delta-frequency activities in the nucleus accumbens of anesthetized and freely moving rats // *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology.* - 1993. – V. 71. – P. 311–320.

197. Likhtik E., Gordon J.A. Circuits in sync: decoding theta communication in fear and safety // *Neuropsychopharmacology.* - 2014.- V. 39. – P. 235–236.

198. Lim I.S. Comparative analysis of the correlation between anxiety, salivary alpha amylase, cortisol levels, and athletes' performance in archery competitions // *J Exerc Nutrition Biochem.* – 2018. - V. 22, № 4. – P. 69-74. doi: 10.20463/jenb.2018.0032.

199. Liu Y., Yin H., Ma H., Yu X., Liu G., Guo L., Geng Q. The Salivary- α -amylase level after Stroop test in anxious patients can predict the severity of anxiety // *Neuroscience Letters.* – 2019. – V. 134613. doi:10.1016/j.neulet.2019.134613.

200. Lopes da Silva F.H., Witter M.P., Boeijinga P.H., Lohman A.H. Anatomic organization and physiology of the limbic cortex // *Physiol Rev.* - 1990 - V. 70, № 2. – P. 453-511. doi: 10.1152/physrev.1990.70.2.453.

201. MacLean P.D. *The Triune Brain in Evolution* / Plenum Press, New York. - 1990.

202. Maggio M., De Vita F., Fisichella A., Colizzi E., Provenzano S., Lauretani F., Luci M., Ceresini G. Dall'Aglio E., Caffarra P., Valenti G., Ceda G.P. Dehydroepiandrosterone sulfate and cognitive function in the elderly // *Journal of Steroid Biochemistry & Molecular Biology.* – 2015. - №145. – P. 281–292.

203. Mathersul D., Williams L.M., Hopkinson P.J., Kemp A.H. Investigating models of effect: Relationship among EEG alpha asymmetry depression and anxiety // *Emotion.* – 2008. – V.8. – P. 560–572. doi:10.1037/a0012811.

204. McCall J.G., Al-Hasani R., Siuda E.R., Hong D.Y., Norris A.J., Ford C.P., Bruchas M.R. CRH engagement of the locus coeruleus noradrenergic system mediates stress-induced anxiety // *Neuron*. – 2015. – V. 87. – P. 605–620. doi: 10.1016/j.neuron.2015.07.002.
205. McEwen B.C. Steroid hormones: effect on brain development and function // *Horm Res.* – 1992. - №37, S. 3. – P. 1-10.
206. Mchenry J., Carrier T., Hull E., Kabbaj M. Frontiers in Neuroendocrinology Sex differences in anxiety and depression : Role of testosterone // *Frontiers in Neuroendocrinology*. – 2014. – V. 35, № 1. – P. 42–57. doi: 10.1016/j.yfrne.2013.09.001.
207. Melillo P., Bracale M., Pecchia L. Nonlinear Heart Rate Variability features for real-life stress detection. Case study: students under stress due to university examination // *Biomed Eng Online*. – 2011. – V. 10. – P. 96. doi: 10.1186/1475-925X-10-96.
208. Michael S., Graham K.S. and Davis G.M. OAM cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery using heart rate variability and systolic time intervals-A Review // *Front. Physiol.* – 2017. – V. 8. – P. 301. doi: 10.3389/fphys.2017.00301.
209. Mitchell D.J., McNaughton N., Flanagan D., Kirk I.J. Frontal-midline theta from the perspective of hippocampal "theta" // *Prog Neurobiol.* – 2008. – V. 86, № 3. – P. 156-85. doi: 10.1016/j.pneurobio.2008.09.005.
210. Miu A. C., Heilman R. M., Miclea M. Reduced heart rate variability and vagal tone in anxiety: trait versus state, and the effects of autogenic training // *Auton. Neurosci.* – 2009. – V.145, № 1—2. P. 99.
211. Mueller E.M., Burgdorf C., Chavanon M.L., Schweiger D., Wacker J., Stemmler G. Dopamine modulates frontomedial failure processing of agentic introverts versus extraverts in incentive contexts // *Cogn Affect Behav Neurosci.* - 2014a. – V. 14. – P. 756–768.

212. Mueller E.M., Panitz C., Hermann C., Pizzagalli D.A. Prefrontal oscillations during recall of conditioned and extinguished fear in humans // *J Neurosci.* - 2014b. – V. 34. – P. 7059–7066.
213. Myers B. Corticolimbic regulation of cardiovascular responses to stress // *Physiology & Behavior.* – 2016. – V. 172. – P. 49-59. doi: 10.1016/j.physbeh.2016.10.015.
214. Narayanan V., Heiming R.S., Jansen F., Lesting J., Sachser N., Pape H.C., Seidenbecher T. Social defeat: impact on fear extinction and amygdala-prefrontal cortical theta synchrony in 5-HTT deficient mice // *PLoS One.* - 2011.- V. 6:e22600.
215. Netter P. On the Psychobiology of Personality // *Personality and Hormones.* - 2004. doi: 10.1016/B978-008044209-9/50020-8.
216. Niekerk J. K., Huppert F. A., Herbert J. Salivary cortisol and DHEA : association with measures of cognition and well-being in normal older men, and effects of three months of DHEA supplementation // *Psychoneuroendocrinology.* - 2001. – V. 26. – P. 591–612.
217. Nomura S. Salivary Hormones, Immunes and Other Secretory Substances as Possible Stress Biomarker // *Biomarker*, Prof. Tapan Khan (Ed.). – 2012. – P. 247 – 270.
218. Norman R. E., Moreau B. J.P., Welker K.M., Carré J.M. Trait Anxiety Moderates the Relationship Between Testosterone Responses to Competition and Aggressive Behavior // *Adaptive Human Behavior and Physiology.* – 2015. – V. 1, № 3. – P. 312–324. doi: 10.1007/s40750-014-0016-y.
219. Palva S., Kulashekhar S., Hämäläinen M., Palva J.M. Localization of cortical phase and amplitude dynamics during visual working memory encoding and retention//*J. Neurosci.* - 2011. - V. 31.№ 13. - P.5013.
220. Paniccia M., Paniccia D., Thomas S., Taha T., Reed N. Clinical and non-clinical depression and anxiety in young people: A scoping review on heart rate variability // *Autonomic Neuroscience.* - 2017. – V. 208. – P. 1–14. doi:10.1016/j.autneu.2017.08.008

221. Papacosta E., Nassis G. P., Gleeson M. Salivary hormones and anxiety in winners and losers of an international judo competition // *Journal of Sports Sciences*. – 2016. – V. 34, № 13. - P. 1281–1287. doi: 10.1080/02640414.2015.1111521.
222. Pearman A., Neupert S.D., Hughes M.L. State Anxiety Is Related to Cortisol Response During Cognitive Testing for Older Adults // *Gerontology & Geriatric Medicine*. – 2020. – V.6. – P. 1-10. DOI: 10.1177/2333721420914776.
223. Pedroni A., Gianotti L. R., Koenig T., Lehmann D., Faber P., Knoch D. Temporal characteristics of EEG microstates mediate trial by trial risk taking // *Brain Topography*. – 2017. - V. 30, № 1. – P. 149–159.
224. Petersen S.E., Posner M.I. The attention system of the human brain: 20 years after // *Annual review of neuroscience*. - 2012. - V. 35. - P. 73–89.
225. Pizzagalli D.A. Frontocingulate dysfunction in depression:toward biomarkers of treatment response // *Neuropsychopharmacol Rev*. – 2011. – V. 36. – P. 183-206.
226. Poole K.L., Schmidt L.A. Frontal brain delta-beta correlation, salivary cortisol, and social anxiety in children // *J Child Psychol Psychiatry*. – 2019. - V. 60, № 6. – P. 646-654. doi: 10.1111/jcpp.13016.
227. Poppa T., de Witte S., Vanderhasselt M.A., Bechara A., Baeken C. Theta-burst stimulation and frontotemporal regulation of cardiovascular autonomic outputs: The role of state anxiety // *Int J Psychophysiol*. – 2020. – V. 149. – P. 25-34. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2019.12.011.
228. Poppelaars E. S., Harrewijn A.P., Westenberg M., Melle J.W., van der Molen. Frontal Delta-Beta Cross-Frequency Coupling in High and Low Social Anxiety: An Index of Stress Regulation? // *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*. - 2018. – V.18, №4. – P. 764–777.
229. Prager E.M., Bergstrom H.C., Wynn G.H., Braga M.F. The basolateral amygdale gamma-aminobutyric acidergic system in health and disease // *J. Neurosci. Res*. – 2016. – V. 96, № 6. P. 548–567.

230. Pulvermüller F., Birbaumer N., Lutzenberger W., Mohr B. High-frequency brain activity: Its possible role in attention, perception and language processing // *Progress Neurobiol.* - 1997. - № 52. - P. 427.
231. Raffety B.D., Smith R.E., Ptacek J.T. Facilitating and debilitating trait anxiety, situational anxiety, and coping with an anticipated stressor: a process analysis // *Pers. Soc. Psychol.* – 1997. – V. 72, № 4. – P. 892–906.
232. Reyes del Paso G.A., Langewitz W., Mulder L.J., van Roon A., Duschek S. The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: a review with emphasis on a reanalysis of previous studies // *Psychophysiology.* – 2013. V.50, № 5. – P. 477–87.
233. Ridderinkhof K.R., Ullsperger M., Crone E.A., Nieuwenhuis S. The role of the medial frontal cortex in cognitive control // *Science.* - 2004. – V. 306, №5695Ю – P. 443–447.
234. Ring C., Carroll D., Hoving J., Ormerod J., Harrison L.K., Drayson M. Effects of competition, exercise, and mental stress on secretory immunity // *Journal of Sports Sciences.* – 2005. – V. 23, №5. – P. 501 – 508.
235. Sadaghiani S., Kleinschmidt A. Brain Networks and α -Oscillations: Structural and Functional Foundations of Cognitive Control // *Trends Cogn Sci.* – 2016. – V. 20, № 11. – P. 805-817. doi: 10.1016/j.tics.2016.09.004.
236. Salvador A., Suay F., González-Bono E., Serrano, M. A. Anticipatory cortisol, testosterone and psychological responses to judo competition in young men // *Psychoneuroendocrinology.* - 2003. - V. 28. – P. 364–375. doi: 10.1016/S0306-4530(02)00028-8.
237. Saunders A., Kirk I.J., Waldie K.E. Hemispheric Coherence in ASD with and without Comorbid ADHD and Anxiety // *Biomed Res Int.* – 2016. – V. 2016. doi: 10.1155/2016/4267842.
238. Sauseng P., Klimesch W., Heise K.F., Gruber W.R., Holz E., Karim A.A., Glennon M., Gerloff C., Birbaumer N., Hummel F.C. Brain oscillatory substrates of visual short-term memory capacity // *Current Biol.* - 2009. - V.19. № 21. - P.1846.

239. Schlotz, W., Schulz P., Hellhammer J., Stone A.A., Dirk H. Hellhammer D.H. Trait anxiety moderates the impact of performance pressure on salivary cortisol in everyday life // *Psychoneuroendocrinology*. – 2006. P. 459–472. doi: 10.1016/j.psyneuen.2005.11.003.
240. Schoenberg P.L.A. Linear and Nonlinear EEG-Based Functional Networks in Anxiety Disorders // *Adv Exp Med Biol*.- 2020. – V. 1191. – P. 35-59. doi: 10.1007/978-981-32-9705-0_3.
241. Schutter D.J., van Honk J. Decoupling of midfrontal delta-beta oscillations after testosterone administration // *Int J Psychophysiol*. – 2004. – V. 53, №1. – P. 71-3. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2003.12.012.
242. Schutter D.J., van Honk J. Salivary cortisol levels and the coupling of midfrontal delta-beta oscillations // *Int J Psychophysiol*. – 2005. – V. 55, № 1. – P. 127-9. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2004.07.003.
243. Shaffer F., Mc Craty R., Zerr C.L. A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability // *Frontiers in psychology*. - 2014. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01040/ 2014.
244. Sharp B.M. Basolateral amygdale and stress-induced hyperexcitability affect motivated behavior and addiction // *Transl. Psychiatry*. - 2017. – V.7, № 8. – P. 1–13.
245. Shinba T. Major depressive disorder and generalized anxiety disorder show different autonomic dysregulations revealed by heart-rate variability analysis in first-onset drug-naïve patients without comorbidity // *Psychiatry Clin Neurosci*. – 2017. – V.71, № 2. – P. 135-145. doi: 10.1111/pcn.12494.
246. Shirotaki K., Izawa S., Sugaya N., Yamada K.C., Ogawa N., Ouchi Y., Nagano Y., Nomura S. Salivary cortisol and DHEA reactivity to psychosocial stress in socially anxious males // *Int J Psychophysiol*. – 2009. – V. 72, № 2. – P. 198-203. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2008.12.010.
247. Siegel M., Donner T.H., Engel A.K. Spectral fingerprints of large-scale neuronal interactions // *Nat Rev Neurosci*. - 2012 V. 13, № 2. - P:121-34. doi: 10.1038/nrn3137.

248. Siuda E.R., McCall J.G., Al-Hasani R., Shin G., Il Park S., Schmidt M.J., Anderson S.L., Planer W.J., Rogers J.A., Bruchas M.R. Optodynamic simulation of β -adrenergic receptor signaling // *Nat. Commun.* – 2015. – V. 6. – P. 8480. doi: 10.1038/ncomms9480.
249. Sperl M.F.J., Panitz C., Rosso I.M., Dillon D.G., Kumar P., Hermann A., Alexis E. Whitton A.E., Hermann C., Pizzagalli D.A., Muelleret E.M. Fear Extinction Recall Modulates Human Frontomedial Theta and Amygdala Activity // *Cerebral Cortex.* – 2019. – V. 29, № 2. – P. 701–715.
250. Spielberger C.D., Smith L.H. Anxiety (drive), stress, and serial-position effects in serial-verbal learning // *J Exp Psychol.* – 1966. – V. 72, № 4. – P. 589-595. doi: 10.1037/h0023769.
251. Spielberger C.D., O'Neil H.F. Jr., Hansen D.N. Anxiety, drive theory, and computer-assisted learning // *Prog Exp Pers Res.* – 1972. – V. 6. – P. 109-148.
252. Spielberger C.D., Reheiser E.C., Sydeman S.J. Measuring the experience, expression, and control of anger // *Issues Compr Pediatr Nurs.* – 1995. – V. 18, № 3. – P. 207-232. doi: 10.3109/01460869509087271.
253. Sroufe L.A. Effects of depth and rate of breathing on heart rate and heart rate variability // *Psychophysiology.* - 1971. - V. 8, № 5. - P. 648–655.
254. Stárka L., Dusková M., Hill M. Dehydroepiandrosterone: A neuroactive steroid // *Journal of Steroid Biochemistry & Molecular Biology.* – 2015. - №145. – P. 254–260.
255. Stauble M.R., , Thompson L.A., Morgan G. Increases in Cortisol Are Positively Associated With Gains in Encoding and Maintenance Working Memory Performance in Young Men // *Stress.* – 2013. - V. 16, №4. DOI:10.3109/10253890.2013.780236.
256. Steriade M., McCormick D.A., Sejnowski T.J. Thalamocortical oscillations in the sleeping and aroused brain // *Science.* – 1993a. – V. 262. – P. 679–685.

257. Steriade M., Nunez A., Amzica F., A novel slow α 1 Hz oscillation of neocortical neurons in vivo: depolarizing and hyperpolarizing components // *Journal of Neuroscience*. - 1993b. – V. 13. – P. 3252–3265.
258. Stroganova T.A., Orekhova E.V. EEG and infant states: Infant EEG and Event Related Potentials. / M. de Haan (Ed.). New York: Psychology Press. - 2013. - P. 251.
259. Stroop Y. R. Studies of interference in serial verbal reactions // *J. Exp. Psychol.* – 1935. – V.18. – P. 643-662.
260. Teeuw W., Bosch J.A., Veerman E.C., Amerongen A.V. Neuroendocrine regulation of salivary IgA synthesis and secretion: implications for oral health // *Biol Chem.* – 2004. – V. 385, № 12. – P. 1137-1146. doi: 10.1515/BC.2004.147.
261. Thomas B.L., Claassen N., Becker P., Viljoen M. Validity of Commonly Used Heart Rate Variability Markers of Autonomic Nervous System Function // *Neuropsychobiology*. – 2019. – V. 78, № 1. – P. 14-26. doi: 10.1159/000495519.
262. Tian X., We D., Du X., Wang K., J. Yang J. Liu W., Meng J., Liu H., Liu G., Qiu J. Assessment of trait anxiety and prediction of changes in state anxiety using functional brain imaging: A test–retest study // *Neuroimage*. – 2016. – V. 133. – P. 408–416. doi:10.1016/j.neuroimage.2016. 03.024.
263. Usta M. B., Gumus Y. Y., Say G. N., Bozkurt A., Şahin B., Karabekiroğlu K. Basal blood DHEA-S/cortisol levels predicts EMDR treatment response in adolescents with PTSD // *Nordic Journal of Psychiatry*. - 2017. – V.72, № 3. – P. 164–172. doi:10.1080/08039488.2017.1406984.
264. Valenti G., Ferrucci L., Lauretani F., Ceresini G., Bandinelli S., Luci M., Ceda G., Maggio M., Schwartz R.S. Dehydroepiandrosterone sulfate and cognitive function in the elderly: The InCHIANTI Study // *J Endocrinol Invest*. – 2009. – V. 32, № 9. – P. 766-772. doi: 10.1007/BF03346534.
265. Van Honk J., Tuiten A., Verbaten R., van den Hout M., Koppeschaar H., Thijssen J., de Haan E. Correlations among Salivary Testosterone, Mood, and Selective

Attention to Threat in Humans // *Hormones and Behavior*. – 1999. – V.36, № 1. – P. 17–24. doi:10.1006/hbeh.1999.1521.

266. VanRullen R. Attention Cycles // *Neuron*. – 2018. – V. 99, № 4. – P. 632–634. doi: 10.1016/j.neuron.2018.08.006.

267. Vertes R.P., Kocsis B. Brainstem-diencephalo-septohippocampal systems controlling the theta rhythm of the hippocampus // *Neuroscience*. -1997. – V. 81, № 4. – P. 893–926.

268. Viau V., Functional cross-talk between the hypothalamic-pituitary-gonadal and -adrenal axes // *J. Neuroendocrinol.* – 2002. – V.14. – P. 506–513.

269. Von Stain A., Sarntein J. Different frequencies for different scale of cortical integration: from local gamma to long range alpha/theta synchronization // *Int. J. Psychophysiol.* – 2000. – V. 38. – P. 301–314.

270. Wang S., Zhao Y., Chen S., Lin G., Sun P., Wang T. EEG biofeedback improves attentional bias in high trait anxiety individuals // *BMC Neurosci.* – 2013. – V. 115, № 14. doi:10.1186/1471-2202-14-115.

271. Wang X. J. Neurophysiological and computational principles of cortical rhythms in cognition // *Physiol. Rev.* - 2010. - № 3. - P. 1195-1268.

272. Ward R.T., Smith S.L., Kraus B.T., Allen A.V., Moses M.A., Simon-Dack S.L. Alpha Band Frequency Differences between Low-Trait and High-Trait Anxious Individuals // *NeuroReport*. - 2018. – V. 29, № 2. P. 79–83.

273. Wearne T.A., Lucien A., Trimmer E.M., Logan J.A., Rushby J., Wilson E., Filipčíková M., McDonald S. Anxiety sensitivity moderates the subjective experience but not the physiological response to psychosocial stress // *Int J Psychophysiol.* – 2019. – V.141. – P. 76-83. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2019.04.012.

274. Weger M., Sandi C. Neuroscience and Biobehavioral Reviews High anxiety trait : A vulnerable phenotype for stress-induced depression // *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. – 2018. – V. 87. – P. 27–37. doi: 10.1016/j.neubiorev.2018.01.012.

275. Wetherell M.A., Hyland M.E., Harris J.E. Secretory immunoglobulin A reactivity to acute and cumulative acute multi-tasking stress: relationships between reactivity and perceived workload // *Biol Psychol.* – 2004. – V. 66, № 3. – P. 257-270. doi: 10.1016/j.biopsycho.2003.10.008.
276. Wirth M. M., Schultheiss O. C. Basal testosterone moderates responses to anger faces in humans // *Physiology & Behavior.* – 2007. – V. 90, № 2-3. – P. 496–505. doi:10.1016/j.physbeh.2006.10.016
277. Wolf O.T., Kirschbaum C. Actions of dehydroepiandrosterone and its sulfate in the central nervous system: effects on cognition and emotion in animals and humans // *Brain Res Brain Res Rev.* – 1999. – V. 30, № 3. – P. 264-288. doi: 10.1016/s0165-0173(99)00021-1.
278. Wolf O. T. (2009). Stress and memory in humans: Twelve years of progress? // *Brain Research.* – 2009. V. 1293. – P. 142–154. doi:10.1016/j.brainres.2009.04.013.
279. Woof J.M., Russell M.W. Structure and function relationships in IgA // *Mucosal Immunol.* – 2011. – V. 4, № 6. – P. 590-597. doi: 10.1038/mi.2011.39.
280. Xing M., Tadayonnejad R., MacNamara A., Ajilore O., DiGangi J., Phan K.L., Leow A., Klumpp H., Resting-state theta band connectivity and graph analysis in generalized social anxiety disorder // *NeuroImage : Clinical.* – 2017. – V. 13. – P. 24–32.
281. Young C.K., McNaughton N. Coupling of theta oscillations between anterior and Posterior Midline Cortex and with the Hippocampus in Freely Behaving Rats // *Cerebral Cortex.* - 2009. – V.19 – P. 24–40.
282. Zarjam P., Epps J., Chen F. Spectral EEG features for evaluating cognitive load // *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* – 2011. – P. 3841-4. doi: 10.1109/IEMBS.2011.6090954.
283. Zhang D., Du R. Behavioral preference in sequential decision-making and its association with anxiety // *Hum Brain Mapp.* - 2018. – P. 1–18. doi: 10.1002/hbm.24016.