

На правах рукописи

Венерина

Венерина Яна Андреевна

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ ТРЕВОЖНОСТИ ПРИ
КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

03.03.01 – Физиология

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Москва – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации» (Сеченовский Университет)

Научный руководитель:

доктор биологических наук, профессор кафедры нормальной физиологии ИКМ им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России

Джебраилова Тамара Джебраиловна

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук, заведующая учебной частью, профессор кафедры нормальной физиологии и медицинской физики лечебного факультета ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России

Сорокина Наталия Дмитриевна

доктор медицинских наук, доцент кафедры неврологии и нейрохирургии ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России

Зорин Роман Александрович

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита диссертации состоится 17 марта 2022 года в 13 ч. 00 мин. на заседании Диссертационного совета Д.001.008.01 при ФГБНУ НИИНФ им. П.К. Анохина по адресу: 125009, г Москва, ул. Моховая, д.11, стр.4.

С диссертацией можно ознакомиться в ФГБНУ НИИНФ им. П.К. Анохина и на официальном сайте www.nphys.ru

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба направлять по адресу: 125315, г. Москва, ул. Балтийская, д. 8.

Автореферат разослан «___» декабря 2021 года.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д.001.008.01,
доктор медицинских наук



А.Ю. Абрамова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 того или иного 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; Х. Хеккаузен, 2003]. 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]. Также высокая тревожность связана с развитием синдрома эмоционального выгорания у студентов [Глазачев О.С., 2011]. Как известно, субъективные состояния способствуют реализации поведения, направленного на достижение цели [Юматов Е.А., 2017]. Показана взаимосвязь успешности обучения с личностной [Дегтярев В.П., Торшин В.И., 2010] и

ситуативной [Лапкин М.М. с соавт., 2014] тревожностью студентов. 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.

Зависимость между эффективностью деятельности, в том числе и когнитивной, и уровнем тревожности в соответствии 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 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 связанная с ним активность системы торможения текущего поведения [Gray J.A., McNaughton N. 2000; Knyazev G.G., et al., 2016]. Тревожность может снижать эффективность контроля внимания в ситуации, требующей перераспределения когнитивных ресурсов при выполнении сложных задач [Jaiswal S. et al. 2019; 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. В литературе приводятся достаточно противоречивые данные о взаимосвязи фактора тревожности с характеристиками ЭЭГ. При изучении межполушарных ЭЭГ-асимметрий 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 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 неотъемлемый компонент 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 и 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 [Knyazev G.G., 2012; Джебраилова Т.Д. с соавт., 2014].

Механизмы вегетативной регуляции 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, традиционно используют анализ variability сердечного ритма (VCP). В частности, показано, что у испытуемых с повышенной тревожностью [Alvares G.A. et al., 2013; Муртазина Е.П. с соавт., 2019; Liu Y. et al., 2019] снижается variability 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]. Наряду с этим, есть данные о положительной корреляционной связи между высокочастотной спектральной составляющей VCP, отражающей вагусные влияния, и уровнем тревожности [Jönsson. P. 2007; Shinba T., 2017].

Важная роль в формировании тревожных состояний принадлежит гормонам. Показано, что личностная тревожность оказывает модулирующее влияние на секрецию кортизола при выполнении тестовых заданий [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.

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 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 произвольного 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 высокотревожными испытуемыми. У высокотревожных испытуемых преобладает глюकोкортикоидная 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.

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 (Москва, 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).

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

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», «Выводы», «Список литературы». Список литературы включает 283 источника, из них 107 отечественных и 176 зарубежных.

Организация и методы исследования

В двух сериях исследования, проведенного в соответствии с нормами локального этического комитета Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, на основании предварительно подписанного информированного согласия приняли участие 78 человек, относительно здоровых мужчин в возрасте 18-22 лет, правшей.

Первая серия исследования, в которой приняли участие 43 человека, посвящена изучению особенностей динамики спектральных характеристик основных диапазонов и функциональных корковых связей тета1-диапазона ЭЭГ у испытуемых при выполнении ими теста на концентрацию и скорость переключения внимания (компьютеризированный вариант теста Горбова «Красно-черная таблица»), с учетом фактора тревожности.

Схема исследования: 1) ознакомление испытуемых с процедурой, 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 (Ф1 ЗГ); 5) инструкция по выполнению экспериментальной задачи; 6) регистрация ЭЭГ в исходном состоянии при открытых глазах (Ф2 ОГ); 7) выполнение экспериментальной задачи с параллельной регистрацией ЭЭГ.

Вторая серия исследования (с участием 35 человек) посвящена выявлению особенностей гуморальных механизмов обеспечения когнитивной деятельности (компьютеризированная модифицированная версия теста Струпа) 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.

Схема исследования: 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.

Методы исследования

Психологическое тестирование: 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].

Экспериментальная задача 1: компьютеризованный вариант теста Горбова (красно-черные таблицы), используемый для оценки концентрации и скорости переключения внимания [Методика Горбова «Красно-черная таблица», 1995]. На мониторе отображалась квадратная таблица, состоящая из 24 красных и 25 черных квадратных ячеек с собственными номерами. Для всех испытуемых использовался одинаковый набор паттернов расположения квадратов. В соответствии с инструкцией, испытуемый должен был в первом задании выбрать (указать курсором) сначала черные квадраты в порядке возрастания номеров (от 1 до 25), после чего - красные квадраты в порядке убывания номеров (от 24 до 1). Во втором задании - выбрать черные квадраты в порядке возрастания, чередуя их с красными в порядке убывания. По результатам выполнения теста для каждого испытуемого вычисляли общее время выполнения всего теста (с) и число допущенных при этом ошибок. Вычисляли время переключения внимания, как разницу между временем выполнения первого и второго задания.

Экспериментальная задача 2: компьютеризованный вариант модифицированного теста Струпа, направленного на оценку когнитивной гибкости и рабочей памяти [Stroop J.R., 1935; Jensen A.R., Rohwer W.D., 1966]. Тест состоял из 5 заданий разного уровня сложности. Испытуемым по очереди предъявляли на экране монитора фигуры разной формы (квадрат, круг, ромб или треугольник) и разным цветом рамки со вписанными в них названиями цветов. Согласно инструкции испытуемый должен был оценить соответствие цвета слова или рамки его словесному обозначению. 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. Для всех испытуемых использовался одинаковый набор паттернов предъявления фигур. Оценивали время выполнения теста (с) и количество допущенных ошибок.

Регистрацию ЭЭГ проводили (в 1-й серии: с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-спектр», г. Иваново; во 2-й серии - с помощью электроэнцефалографа «Неокортекс-С», г. Зеленоград) 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 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 при спектральном и без перекрытия при когерентном анализе), частота оцифровки – 200 Гц. Полученные спектрограммы являлись результатом усреднения по 15 последовательным 4 секундным реализациям каждой анализируемой ЭЭГ.

В 1-й серии 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).

Во 2-й серии вычисляли спектры мощности в диапазонах основных ритмов ЭЭГ (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 RRNN (мс); CV (%); TP (мс²); HF (мс²); LF (мс²); VLF (мс²); и LF/HF (отн.ед.).

Определение содержания гормонов в слюне. Сбор слюны осуществлялся за 10 минут до выполнения теста и сразу после него с использованием системы «SaliCap» фирмы IBL. После сбора слюны пробирки подвергались быстрой заморозке и хранились при температуре -80° С. 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 статистического анализа и представления данных использовали пакет программ «STATISTICA v.10.0». Данные представлены в виде [Me (Q1; Q3)]. Сравнение несвязанных групп проводили при помощи «Kruskal-Walles ANOVA», апостериорный анализ проводили с использованием «Mann-Whitney U test». Динамику показателей у одной группы испытуемых оценивали с использованием «Friedman ANOVA by Ranks», апостериорный анализ проводили с применением «Wilcoxon test». Достоверными считали отличия при $p < 0,05$. Значения p скорректированы с учетом поправки по Бонферрони. Для оценки корреляционных связей проводили ранговый анализ по Спирмену.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристики ЭЭГ у испытуемых с разной личностной тревожностью при когнитивной деятельности (1-я серия).

В зависимости от уровня личностной тревожности испытуемые ($n=43$) были разделены на группы: с низкой ЛТ (ЛТ1; $n=13$; до 30 баллов), со средней ЛТ (ЛТ2; $n=17$; 31-44 балла) и с высокой ЛТ (ЛТ3; $n=13$; 45-55 баллов). Значимых различий в параметрах результата выполнения теста на внимание у испытуемых с разным уровнем ЛТ не обнаружено (Табл. 1).

Таблица 1. Показатели личностной тревожности и результаты выполнения теста Горбова у испытуемых с низкой, средней и высокой личностной тревожностью; (Me [25%; 75%]).

Показатель	Личностная тревожность		
	Низкая ($n=13$)	Средняя ($n=17$)	Высокая ($n=13$)
Тревожность личностная, балл	29,0 [27,0; 30,0]	35,0 [33,0; 37,0]	45,5 [42,0; 50,0]
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]

Спектральный анализ ЭЭГ.

В исходном состоянии при закрытых глазах (Ф1 ЗГ) у испытуемых с высокой личностной тревожностью наблюдалась меньшая, чем у индивидов с низкой тревожностью мощность потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ фронтальных и левой центральной областей коры. 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.

У испытуемых с высокой ЛТ при выполнении теста на внимание, по сравнению с исходным состоянием при открытых глазах (Ф2 ОГ), наблюдалось повышение мощности потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ большинства областей коры (Рис. 1). У индивидов с низкой и средней личностной тревожностью при выполнении теста, наряду с увеличением мощности потенциалов тета1-диапазона,

отмечалось также увеличение мощности бета2-потенциалов ЭЭГ большинства областей коры (Рис. 1, 2).

С тета-осцилляторной системой мозга ассоциируют активацию внимания и рабочей памяти [Sauseng P. et al., 2009; Мачинская Р.И. с соавт., 2016]. С активностью бета2-осцилляторной системы мозга традиционно связывают разные когнитивные процессы, в том числе, внимание и перцепцию [Pulvermüller F., 1997].

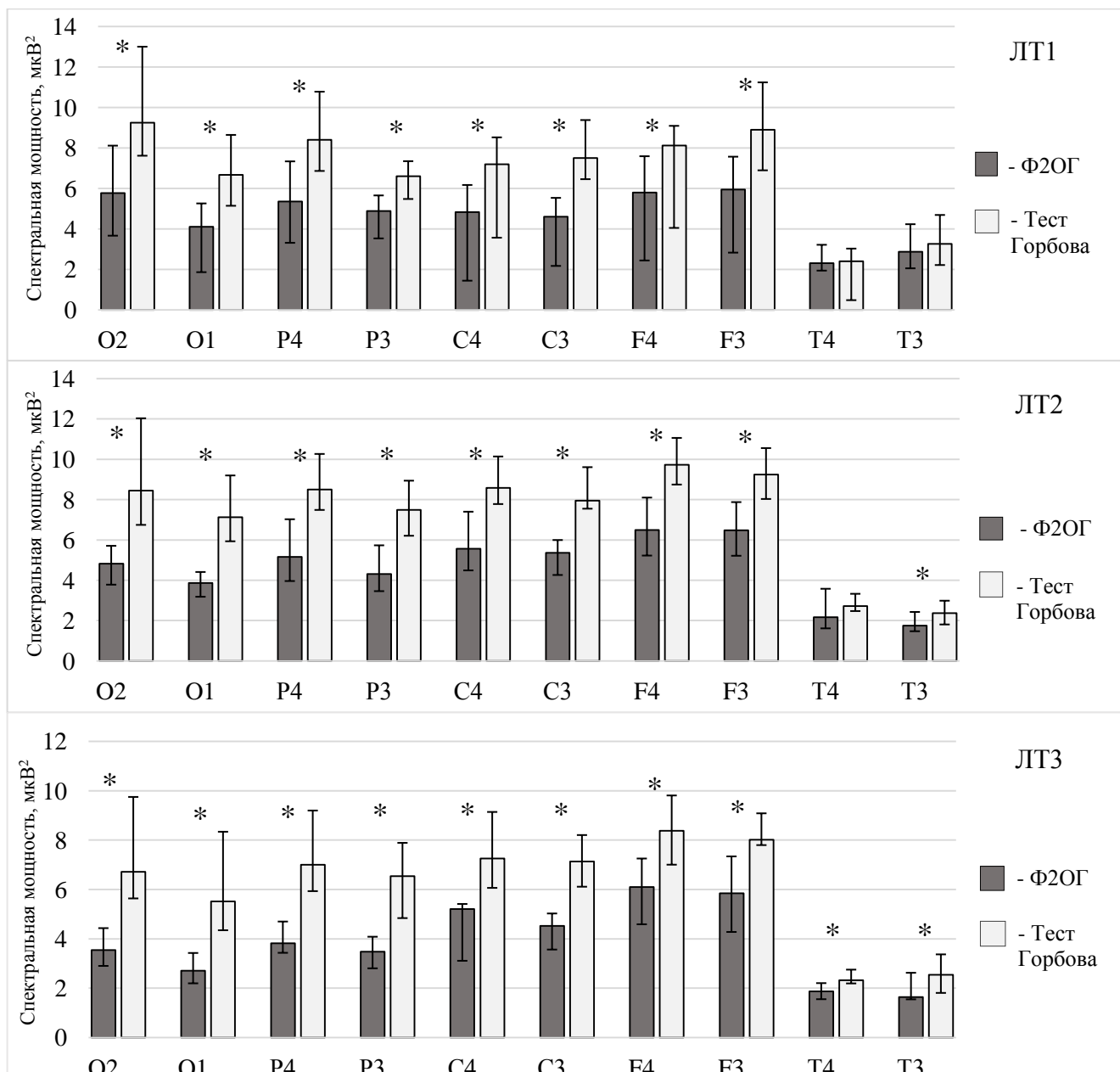


Рисунок 1. Спектральная мощность тета1-ритма ЭЭГ (μV^2) у испытуемых с разной личностной тревожностью в исходном состоянии при открытых (Ф2ОГ) глазах и при выполнении теста Горбова (Тест). По оси ординат – отведения ЭЭГ.

Примечание: «*» - достоверное ($p < 0,05$) увеличение мощности при выполнении теста по сравнению с исходным состоянием (Ф2 ОГ).

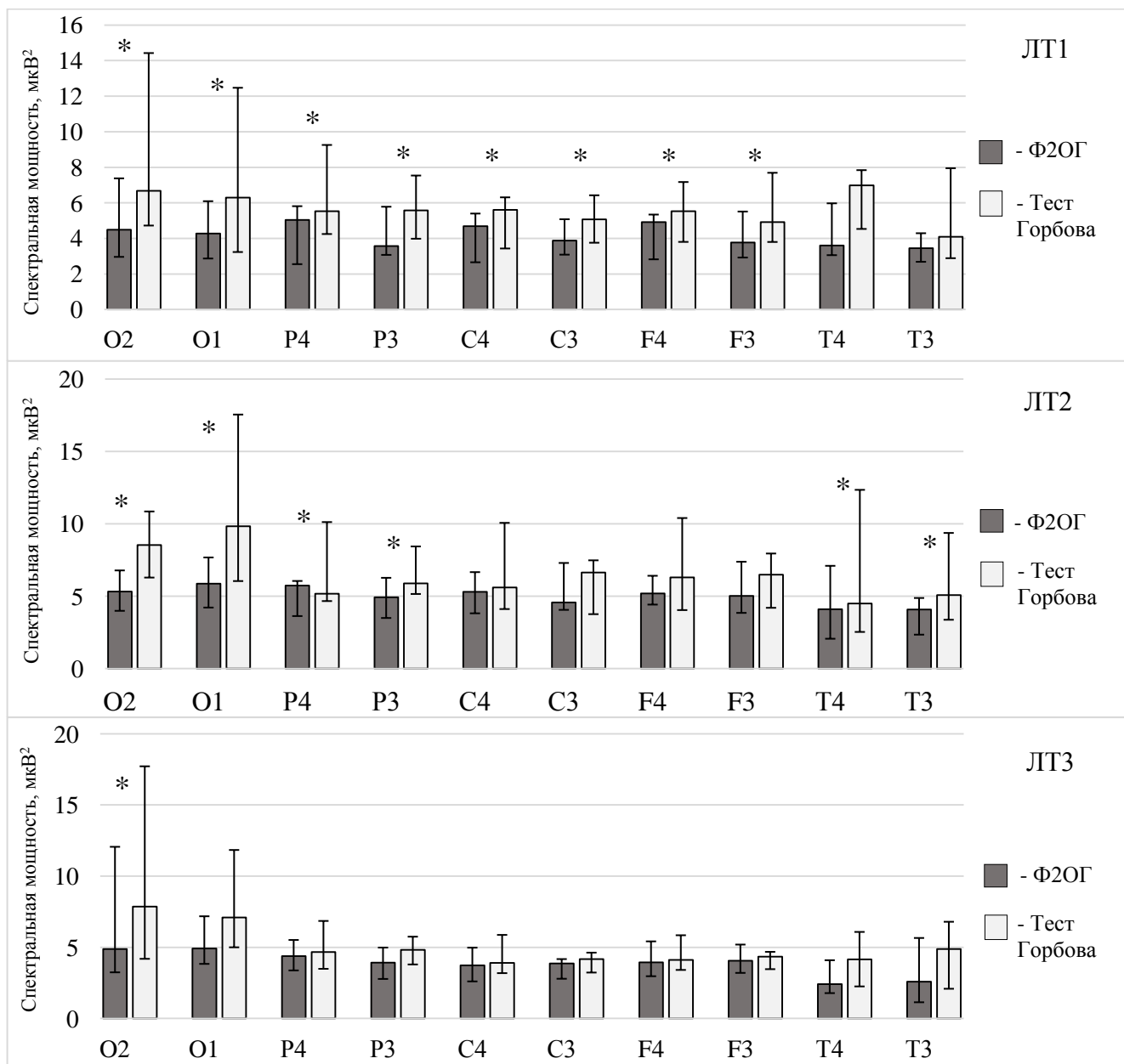


Рисунок 2. Спектральная мощность бета2-ритма ЭЭГ (мкВ²) у испытуемых с разной личностной тревожностью в исходном состоянии при открытых (Φ2ОГ) глазах и при выполнении теста Горбова (Тест) По оси ординат – отведения ЭЭГ.

Примечание: «*» - достоверное ($p < 0,05$) увеличение мощности при выполнении теста по сравнению с исходным состоянием (Φ2 ОГ).

Результаты первой серии обследования позволяют заключить, что у индивидов с разной личностной тревожностью активация произвольного внимания при выполнении теста осуществляется при разной степени вовлечения нейрокогнитивных сетей, осциллирующих в тета1- и бета2-диапазонах ЭЭГ.

Когерентность потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ.

У испытуемых с высокой ЛТ в исходном состоянии (при ЗГ) отмечена меньшая, чем в других группах, правополушарная когерентность тета1-диапазона в системе взаимосвязей с фокусом в правой височной области коры (Рис. 3А). У этих же испытуемых в исходном состоянии при открытых глазах наблюдалась более высокая, чем у индивидов с низкой и средней ЛТ межполушарная

когерентность тета1-диапазона ЭЭГ лобных и центральных областей коры (Рис. 3Б). При выполнении теста на внимание у высокотрещных испытуемых межполушарная когерентность тета1-диапазона ЭЭГ была выше, чем у индивидов с низкой ЛТ в лобных, центральных и теменных областях (Рис. 3Г).

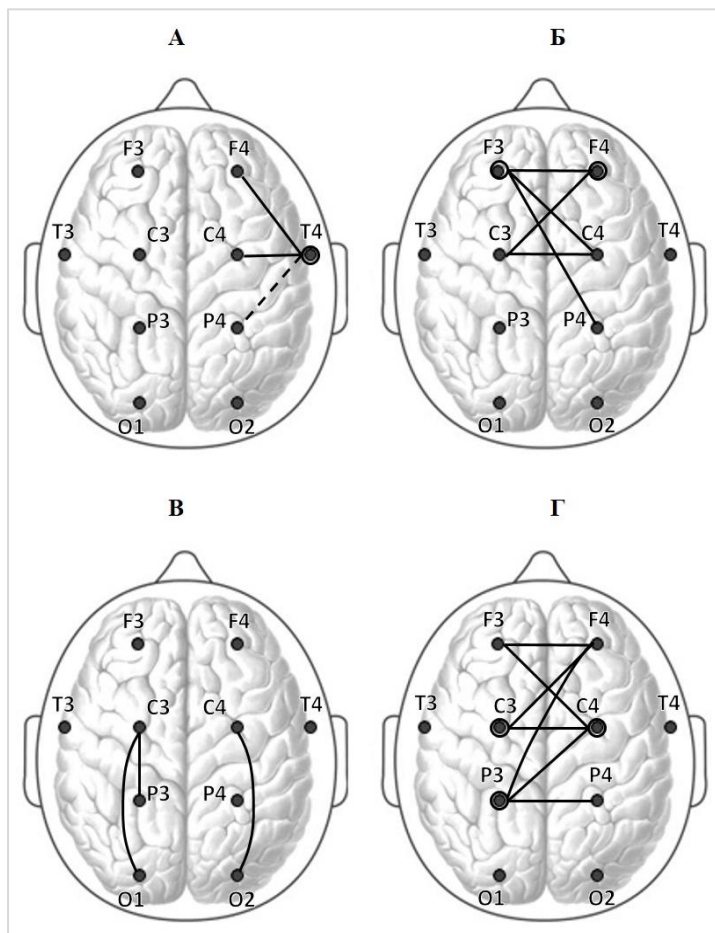


Рисунок 3. Топография различий уровня когерентности на этапах обследования у испытуемых с разной личностной тревожностью.

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

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

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

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

Примечание: представлены только достоверные различия ($p < 0,05$).

Обнаружены различия динамики когерентности потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ у испытуемых с разной ЛТ при переходе от исходного состояния при открытых глазах (Ф2ОГ) к выполнению теста на внимание (Рис. 4).

У испытуемых с низкой ЛТ наблюдалось повышение главным образом внутрисушарной когерентности (Рис. 4), которая в центральных и затылочных отведениях становилась выше, чем у испытуемых других групп (Рис. 3В). У индивидов со средней ЛТ наблюдалось повышение как внутрисушарной (билатерально лобные и центральные области), так и межполушарной когерентности тета1-диапазона ЭЭГ большинства областей коры. У испытуемых с высокой ЛТ отмечалось усиление только межполушарных связей с фокусом в левой теменной области (Рис. 4).

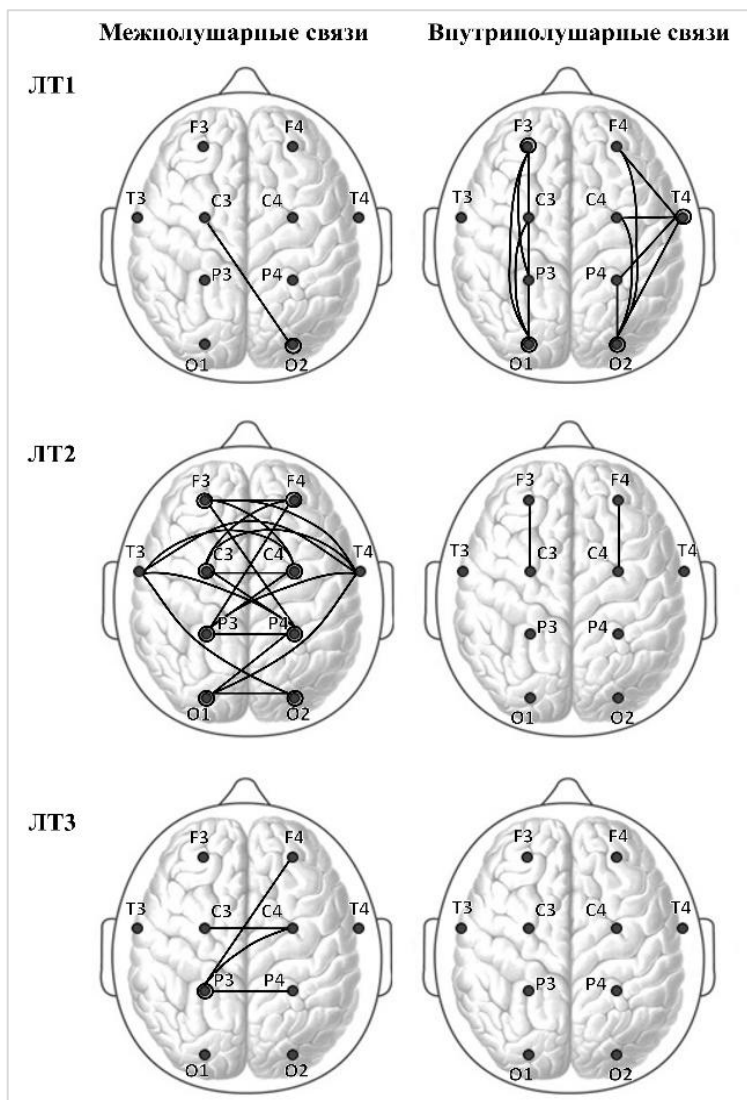


Рисунок 4. Усиление меж- и внутриполушарных когерентных взаимосвязей потенциалов тета1-диапазона ЭЭГ при выполнении теста на внимание по сравнению с исходным состоянием при открытых глазах (Ф2 ОГ) у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью.

Примечание: представлены только достоверные изменения ($p < 0,05$).

Таким образом, наибольшая лабильность структуры когерентных взаимосвязей в тета1-диапазоне ЭЭГ на этапах когнитивной деятельности была характерна для испытуемых со средней ЛТ, а минимальные изменения функциональных взаимосвязей в тета1-диапазоне наблюдались у индивидов с высокой ЛТ.

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.

Гуморальные показатели слюны, параметры ЭЭГ и ВСР у испытуемых с разным уровнем тревожности при когнитивной деятельности (2-я серия).

Испытуемые (n=35) были разделены на группы по результатам тестирования личностной (ЛТ) и ситуативной (СТ) тревожности. В зависимости от уровня личностной тревожности испытуемые (n=35) были разделены на группы: с низкой (ЛТ1; n=11; до 35 баллов), средней (ЛТ2; n=10; 36-40 балла) и высокой (ЛТ3; n=14; 41-55 баллов) ЛТ.

В зависимости от уровня ситуативной тревожности были выделены группы испытуемых с низкой (СТ1; n=9; до 28 баллов), средней (СТ2, n=14; 29 – 36 баллов) и высокой СТ (СТ 3, n=12; 37 – 50 баллов). Значимых различий в параметрах результата выполнения теста у испытуемых с разным уровнем ЛТ и СТ не обнаружено (Табл. 2).

Таблица 2. Показатели личностной и ситуативной тревожности, количество ошибок и время выполнения теста Струпа у испытуемых с низким, средним, и высоким уровнем личностной и ситуативной тревожности, (Me [25%; 75%]).

Показатель	Тревожность	Группы испытуемых с разным уровнем тревожности		
		Низкий	Средний	Высокий
ЛТ, балл	Личностная	34,0 [30,5; 34,0]	39,0 [39,0; 40,0]	44,0 [43,0; 48,0]
СТ, балл	Ситуативная	29,5 [25,0; 36,0]	31,0 [30,0; 35,0]	37,5 [30,0; 41,0]
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, с	Личностная	625 [499; 673]	698 [617; 705]	684 [567; 752]
	Ситуативная	609 [506; 675]	641 [603; 681]	752 [567; 782]

Группы с разной личностной тревожностью.

Спектральный анализ ЭЭГ, зарегистрированной в исходном состоянии при закрытых глазах показал, что, также, как и в первой серии обследования, у испытуемых с высокой ЛТ наблюдалась меньшая, чем у индивидов с низкой ЛТ, мощность потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ обеих фронтальных областей коры.

Во второй серии дополнительно были выявлены достоверные отличия между группами с разной ЛТ по соотношению мощности бета2/дельта диапазонов ЭЭГ (Рис. 5). У испытуемых со средней ЛТ перед выполнением теста на когнитивную гибкость (исходное состояние при ЗГ) 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).

При этом количество ошибок, допущенных при тестировании, положительно коррелировало ($p < 0,05$) с относительной мощностью дельта-ритма (фронтальных и височных отведений) и отрицательно - с соотношением мощности потенциалов бета2/дельта (фронтальных отведений) ЭЭГ, зарегистрированной в исходном состоянии при ЗГ.

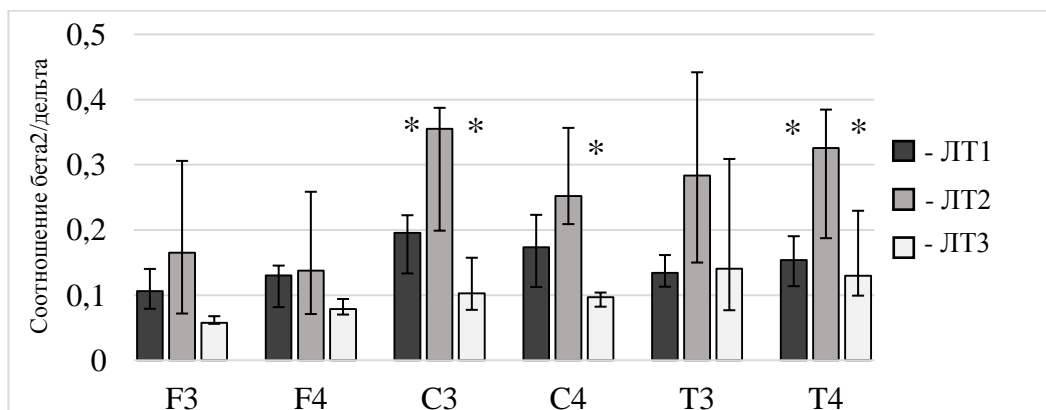


Рисунок 5. Соотношение мощности потенциалов бета2/дельта диапазонов ЭЭГ левых и правых фронтальных (F3, F4), центральных (C3, C4) и височных (T3, T4) отведений (при ЗГ) у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью (отн.ед.) (Me [25%; 75%]).

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

В обеспечение поведения вовлекаются как низкокодифференцированные, сформированные в раннем онтогенезе, так и высококодифференцированные, сложившиеся на более поздних этапах развития, системы [Александров Ю.И. с соавт., 2017]. В онтогенезе наблюдается уменьшение доли низкочастотной составляющей ЭЭГ, в частности дельта-диапазона, которую связывают с активностью субкортикальных отделов головного мозга, и увеличение доли высокочастотной ритмики, в том числе бета-диапазона, рассматриваемой как отражение активности кортикальных структур [MacLean, 1990; Knyazev G.G., 2011; Князев Г.Г. с соавт., 2012; Кустубаева А.М., 2012; Пашков А.А. с соавт., 2017]. Можно полагать, что большие значения соотношения мощности бета2/дельта диапазонов ЭЭГ отражают увеличение вклада высококодифференцированных систем в реализацию текущего поведения у испытуемых со средней ЛТ, в отличие от индивидов с низкой и высокой ЛТ.

Гуморальные показатели слюны.

Испытуемые с разным уровнем личностной тревожности достоверно (Kruskal-Waltes ANOVA) различались по исходной концентрации ДГЭА-с ($H=8,51$; $p=0,014$) и соотношению ДГЭА-с/кортизол ($H=11,44$; $p=0,003$) в слюне. Апостериорный анализ показал, что у испытуемых со средней ЛТ исходная концентрация ДГЭА-с в слюне была достоверно выше, чем у испытуемых с низкой ЛТ ($U=16$; $Z=-2,70$; $p=0,021$). Соотношение ДГЭА-с/кортизол в исходном состоянии было достоверно выше у испытуемых со средней ЛТ по сравнению как с низкотрещожными ($U=19$; $Z=-2,53$; $p=0,033$), так и высокотрещожными ($U=7$; $Z=-3,05$; $p=0,007$) испытуемыми (Табл. 3).

Таблица 3. Содержание гормонов в слюне у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью; (Ме [25%; 75%]).

Показатель	ЛТ1		ЛТ2		ЛТ3	
	До теста	После теста	До теста	После теста	До теста	После теста
Кортизол, 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]
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]
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]

Примечание «*» - достоверные отличия ($p < 0,05$) показателей между группами в исходном состоянии.

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

Характеристики сердечного ритма

Достоверных различий характеристик сердечного ритма (Kruskal-Wallis ANOVA) в группах испытуемых с разной ЛТ в исходном состоянии, во время и после теста не обнаружено. Однако, у испытуемых с разной ЛТ выявлены особенности динамики длительности R-R-интервалов и CV на этапах обследования (в исходном состоянии, во время и после теста) (табл. 4).

У испытуемых с низкой ЛТ значимых изменений характеристик BCP на этапах обследования не выявлено (Friedman ANOVA).

Таблица 4. Длительность (RRNN) и коэффициента вариации (CV) RR-интервалов ЭКГ на этапах обследования у испытуемых с низкой (ЛТ1), средней (ЛТ2) и высокой (ЛТ3) личностной тревожностью; (Ме [25%; 75%]).

Показатель	ЛТ1			ЛТ2			ЛТ3		
	До теста	Тест	После	До теста	Тест	После	До теста	Тест	После
RRNN, мс	826 [790; 926]	807 [741; 892]	831 [747; 909]	817 [749; 877]	767* [698; 841]	793 [728; 847]	863 [760; 905]	788* [694; 863]	800 [763; 919]
CV, %	6,3 [5,8; 9,3]	7,3 [6,9; 7,7]	7,7 [6,6; 10,2]	6,5 [5,0; 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]

Примечание: «*» - достоверные отличия ($p < 0,05$) на этапах обследования внутри группы.

В группе со средней ЛТ в трех анализировавшихся ситуациях наблюдались различия (Friedman ANOVA) длительности R-R-интервалов ($H=6,50$; $p=0,039$) и CV ($H=9,39$; $p=0,009$). Апостериорное сравнение (Wilcoxon test), показало, что во время теста, по сравнению с исходным состоянием у этих испытуемых наблюдалось достоверное уменьшение длительности R-R-интервалов ($T=1,0$; $Z=2,98$; $p=0,009$) и увеличение CV ($T=12,0$; $Z=2,34$; $p=0,047$).

У испытуемых с высокой ЛТ в трех ситуациях значимо (Friedman ANOVA) различалась длительность R-R-интервалов ЭКГ ($H=7,40$; $p=0,024$), которая достоверно (Wilcoxon test) уменьшалась при выполнении теста, по сравнению с исходным состоянием ($T=3,0$; $Z=2,49$; $p=0,038$).

Корреляционный анализ выявил взаимосвязь уровня гормонов с некоторыми характеристиками ВСР. В частности, исходный уровень ДГЭА-с в слюне положительно коррелировал с общей мощностью (TP) спектра ВСР в исходном состоянии ($r=0,38$; $p=0,046$), а также с CV на этапе выполнения теста ($r=0,39$; $p=0,036$).

При оценке динамики уровня гормонов в слюне на этапах деятельности у испытуемых учитывался фактор **ситуативной тревожности**.

Выявлена положительная корреляция уровня ситуативной тревожности и исходной концентрации кортизола в слюне ($r=0,51$; $p=0,003$). У высокотревожных испытуемых исходная концентрация кортизола была достоверно выше, чем у низкотревожных испытуемых (15,3 [13,8; 17,3] и 7,7 [5,9; 10,5] нг/мл, соответственно); ($U=12,00$; $Z=2,49$; $p=0,039$). Эти результаты свидетельствуют 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 (Рис. 6).

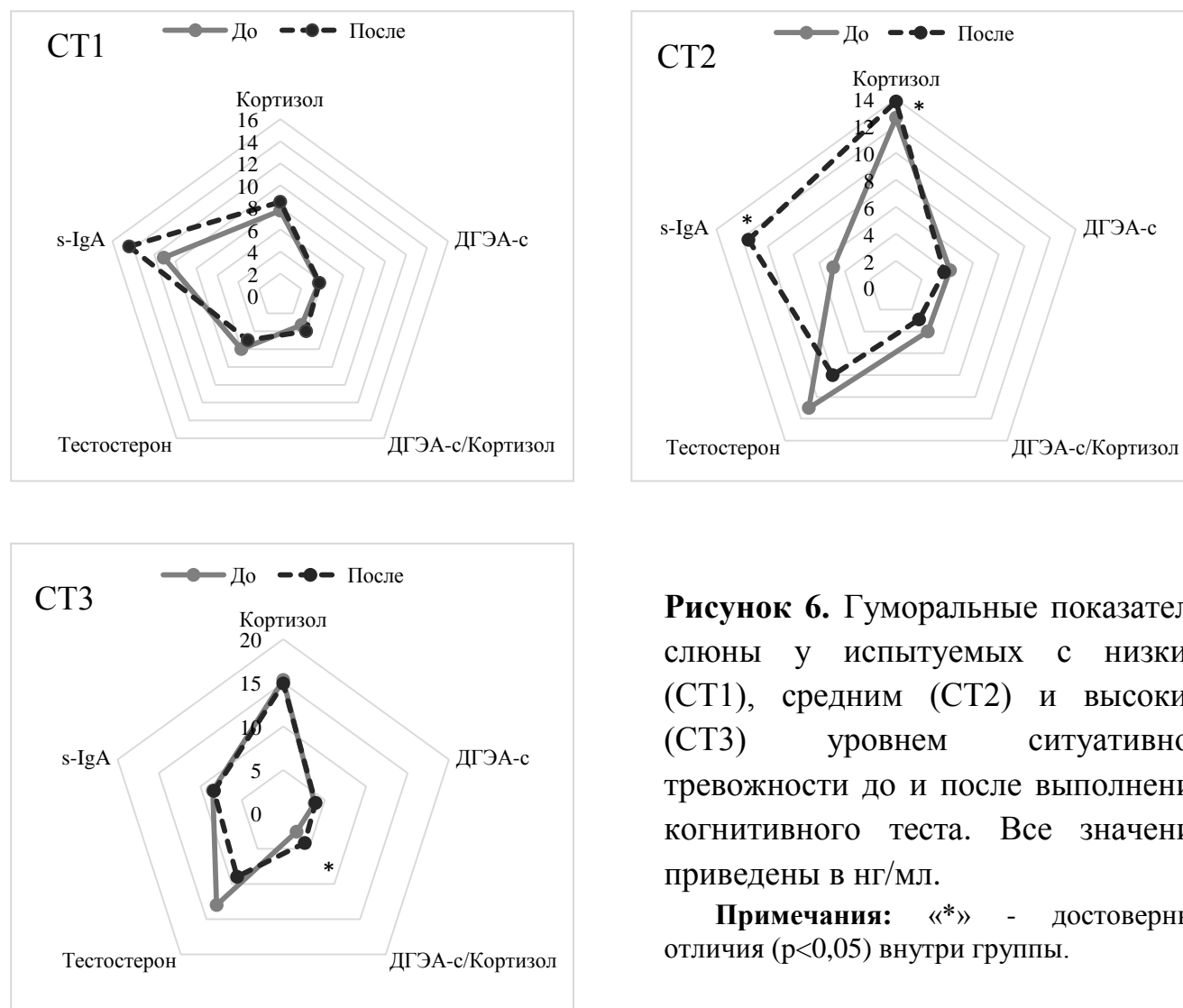


Рисунок 6. Гуморальные показатели слюны у испытуемых с низким (СТ1), средним (СТ2) и высоким (СТ3) уровнем ситуативной тревожности до и после выполнения когнитивного теста. Все значения приведены в нг/мл.

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

У испытуемых со средней СТ наблюдалась большая, чем у других индивидов, лабильность биохимических показателей в процессе тестирования (Рис. 6). 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.

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 отмечаются 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 внутрислошарной 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 ВСР 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 архитектуры поведенческих актов [Анохин П.К., 1968; К.В.Судаков, 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 повышение 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1) Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А., Бирюкова Е.В., Венерина Я.А. Пространственные характеристики тета-ритма ЭЭГ и время переключения внимания в условиях экзогенных помех // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. - 2018.– № 10. — С.1215-1226. DOI: 10.7868/S0869813918100088. (список ВАК)

2) Каратыгин Н.А., Коробейникова И.И., Венерина Я.А. Перспективы использования показателей тета-ритма электроэнцефалографии для мониторинга состояния спортсменов и повышения спортивной результативности // Теория и практика физической культуры. - 2021. - №5. - С. 29 – 31. (список ВАК, Scopus)

3) Dzhebrailova T.D., Korobeinikova I.I., Karatygin N.A., Biryukova E.V., Venerina Y.A. Dynamics of EEG Spectral Characteristics in Subjects with Various Trait Anxiety Levels Performing Cognitive Tests // Human Physiology. - 2021. - V. 47. - No. 1. - pp. 14–22. DOI: 10.1134/S0362119721010035. (Scopus)

Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А., Бирюкова Е.В., Венерина Я.А. Динамика спектральных характеристик ЭЭГ у лиц с разной личностной тревожностью при когнитивной деятельности // Физиология человека. - 2021. - Т. 47. - № 1. - С. 20-30. DOI: 10.31857/S0131164621010033. (список ВАК)

в иных изданиях:

4) Каратыгин Н.А., Коробейникова И.И., Венерина Я.А., Бирюкова Е.В. Пространственные характеристики биопотенциалов тета-диапазона ЭЭГ и результативность когнитивной деятельности у лиц с различной степенью интро-экстраверсии // Психическое здоровье. – 2018. - №. 10. – С.7-13. DOI: 10.25557/2074-014X.2018.10.7-13. (Список ВАК)

5) 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. – С. 3-10. DOI: 10.25557/2074-014X.2020.04.3-10. (Список ВАК)

6) 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. (Список ВАК)

7) Венерина Я.А., Джебраилова Т.Д., Каратыгин Н.А., Будников М.Ю. Спектральные характеристики ЭЭГ и концентрация гормонов в слюне у лиц с разной личностной тревожностью при когнитивной деятельности // Психическое здоровье. – 2021. - №8. – С. 3-12. DOI: 10.25557/2074-014X.2021.08.3-12. (Список ВАК)

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

CV – коэффициент вариации полного массива кардиоинтервалов; 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); VCP – вариабельность сердечного ритма; ДГЭА-с – дегидроэпиандростерон-сульфат; ЗГ – закрытые глаза; ИФА – иммуноферментный анализ; КК – коэффициент когерентности; ЛТ – личностная тревожность; ОГ – открытые глаза; СТ – ситуативная тревожность; ЧСС – частота сердечных сокращений; ЭЭГ – электроэнцефалограмма.