

На правах рукописи

Бирюкова Екатерина Владимировна

**ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЫСОКО- И
НИЗКОРЕЗУЛЬТАТИВНЫХ СТУДЕНТОВ ПРИ РАЗЛИЧНОМ УРОВНЕ
МОТИВАЦИИ И НАЛИЧИИ ОБРАТНОЙ АФФЕРЕНТАЦИИ О ХОДЕ
ВЫПОЛНЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ЗАДАЧ**

03.03.01 – физиология

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Москва – 2020

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 медицинских наук, профессор кафедры нормальной физиологии ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России **Андреанов Владимир Васильевич**

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии медицинского факультета ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»

Торшин Владимир Иванович

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

Зорин Роман Александрович

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Высшей Нервной Деятельности и Нейрофизиологии РАН

Защита диссертации состоится « 21 » мая 2020 года в 13⁰⁰ часов 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 Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина» и на сайте <http://nphys.ru/>. Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба направлять по адресу: 125315, г. Москва, ул. Балтийская, д. 8.

Автореферат разослан «___» марта 2020 г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д.001.008.01,
кандидат медицинских наук



А.Ю. Абрамова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время изучение психофизиологических и вегетативных функций человека в условиях его профессиональной деятельности приобретает все большую актуальность. С позиций теории функциональных систем наиболее целесообразно и обосновано рассмотрение этого вопроса с учетом «физиологической цены» достижения конкретного приспособительного результата [Судаков К.В. и др., 2012]. Примером деятельности с высокой «физиологической ценой» является учебная деятельность студентов высшей школы [Умрюхин Е.А. и др., 2004; Агаджанян Н.А. и др., 2006; Ulyanov D.A., 2016; Monier D.V. et al., 2018]. Интенсификация образовательного процесса снижает адаптационные возможности обучающихся, что в сочетании с индивидуальными психофизиологическими и вегетативными особенностями может приводить к снижению качества жизни и формированию стресс-индуцированных психосоматических расстройств [Глазачев О.С., 2011; Юматов Е.А. и др., 2019]. В этой связи, для предотвращения срыва адаптаций у студентов и оптимизации образовательного процесса, возникает необходимость поиска объективных индивидуальных электрофизиологических показателей, характеризующих состояние регуляторных механизмов и адаптационных процессов. Для этого теоретически обосновано применение параметров ВСР и ЭЭГ [Баевский Р.М., 2001; Джебраилова Т.Д. и др., 2012; Афтанас Л.И. и др., 2013; Зорин Р.А. и др., 2016; Павлова Л.П., 2017].

Также следует учитывать, что в качестве одного из факторов, предопределяющих особенности вегетативного обеспечения целенаправленного поведения и, в частности, когнитивной деятельности, выступают такие компоненты центральной архитектоники, как уровень мотивации и обратная афферентация. При мотивационно-эмоциональном напряжении происходит перераспределение энергетических компонентов мотивационного спектра активности индивида, что способствует формированию центрально-периферических отношений, предопределяющих особенности вегетативного обеспечения целенаправленных поведенческих актов [Котов А.В., 2006; Лебедева Н.А., 2003]. Обратная афферентация способствует оценке и корректировке промежуточных и конечных результатов целенаправленной деятельности, что не только содействует достижению более высокого результата когнитивной деятельности [Rogers D.A. et al, 2014; Меркулова М.А., Лапкин М.М. и др., 2014; Абабкова М.Ю. и др., 2018], но и вызывает соответствующие изменения

физиологического обеспечения поведенческого акта. С учетом вышесказанного, в данном исследовании особое внимание уделено влиянию мотивации и обратной афферентации как на результативность, так и на физиологическое обеспечение когнитивной деятельности.

Цель и задачи исследования. Цель настоящей работы заключалась в выявлении особенностей динамики параметров variability сердечного ритма и спектрально-когерентных характеристик ЭЭГ высоко- и низкорезультативных студентов при различном уровне мотивации и наличии или отсутствии пошаговой обратной афферентации о ходе выполнения когнитивных задач.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Определить физиологическую стоимость достижения высокого результата когнитивной деятельности посредством анализа динамики психофизиологических показателей студентов при выполнении учебного компьютерного теста.

2. Оценить влияние мотивации и пошаговой обратной афферентации на результативность, гемодинамические и электроэнцефалографические параметры испытуемых в ходе выполнения когнитивных задач.

3. Выявить особенности гемодинамического обеспечения и оценить параметры variability сердечного ритма высоко- и низкорезультативных студентов при выполнении когнитивных задач.

4. Оценить динамику спектрально-когерентных характеристик ЭЭГ в альфа- (8-13 Гц) и тета-диапазонах (4-8 Гц) у студентов с низкой и высокой результативностью выполнения когнитивных задач.

Научная новизна работы. Исследована роль мотивации и пошаговой обратной афферентации в обеспечении когнитивной деятельности. Показано, что наличие мотивации и обратной афферентации не только способствует достижению более высоких результатов, но и провоцирует повышение физиологической стоимости когнитивной деятельности, вызывая усиление центральных надсегментарных и симпатических влияний на сердечный ритм при ослаблении активности парасимпатического компонента.

Предложен способ интерпретации результатов корреляционного анализа параметров результата деятельности, гемодинамики и ВСР, основанный на выделении устойчивых, распадающихся и вновь образующихся на этапах обследования взаимосвязей, позволяющий судить об инертности, или, напротив, динамической перестройке взаимодействия компонентов функциональных

систем, включенных в физиологическое обеспечение когнитивной деятельности. При достижении высокого результата тестирования и соответствующей обратной афферентации наблюдалось изменение структуры корреляционных взаимосвязей, свидетельствующее о динамической перестройке, отражающей успешное завершение деятельности. При низкой результативности тестирования и отрицательной обратной афферентации отмечалась инертность структуры корреляционных взаимосвязей, которую можно рассматривать как проявление отрицательного эмоционального состояния у низкорезультативных испытуемых.

При анализе спектрально-когерентных характеристик ЭЭГ выделены предикторы результативности когнитивной деятельности. Показано, что для высокорезультативных студентов в исходном состоянии характерно меньшее число когерентных взаимосвязей в альфа-диапазоне ЭЭГ и большая, чем у низкорезультативных, когерентность потенциалов тета-диапазона ЭЭГ в системах внутри- и межполушарных взаимосвязей с фокусом в левой и правой центральных областях коры.

Выявлены особенности динамики спектрально-когерентных характеристик альфа-ритма ЭЭГ у испытуемых с различной результативностью в зависимости от субъективной сложности теста. У высокорезультативных испытуемых при выполнении субъективно наиболее сложного задания наблюдалось уменьшение амплитуды альфа-ритма ЭЭГ фронтальных областей и силы межполушарных когерентных связей в альфа-диапазоне в теменно-затылочных и теменных областях коры. У низкорезультативных испытуемых при выполнении наиболее сложных заданий отмечалось повышение когерентности потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ с фокусом в левой височной области коры.

Научно-практическая значимость работы. Получены новые сведения об особенностях физиологического обеспечения когнитивной деятельности, выполняемой с различной результативностью. Выявленные объективные электрофизиологические корреляты могут быть использованы для персонализированного подхода к организации образовательного процесса, а также в качестве предикторов результативности когнитивной деятельности. Помимо этого, данные о влиянии уровня мотивации и обратной афферентации на результативность и физиологическое обеспечение когнитивной деятельности студентов могут быть использованы для оптимизации интеллектуальной деятельности и совершенствования контроля усвоенных знаний с учетом индивидуальных физиологических особенностей.

Теоретическая и методологическая основа исследования.

Диссертационное исследование базировалось на основе теории функциональных систем [Анохин П.К., 1968, 1973; Судаков К.В., 1984, 2004], в соответствии с которой анализировали динамику характеристик ВСР и ЭЭГ в процессе выполнения когнитивных задач с учетом результата целенаправленной деятельности. В соответствии с организацией центральной архитектоники поведенческого акта, оценивали влияние уровня мотивации и наличия обратной афферентации на результативность и на особенности физиологического обеспечения когнитивной деятельности.

Положения, выносимые на защиту.

- Наличие дополнительной мотивации и пошаговой обратной афферентации о ходе выполнения задания способствует увеличению результативности когнитивной деятельности, однако приводит к увеличению напряжения механизмов регуляции сердечной деятельности.
- Достижению высокого результата когнитивной деятельности в условиях повышенной мотивации и обратной афферентации соответствует распад исходно наблюдавшихся и формирование новых корреляционных взаимосвязей между параметрами результата деятельности, гемодинамики и ВСР, что отражает перестройку взаимодействия компонентов функциональных систем, включенных в физиологическое обеспечение когнитивной деятельности.
- При низкой результативности тестирования в условиях повышенной мотивации и обратной афферентации, по сравнению с тестированием в обычных условиях, наблюдается инертность структуры корреляционных связей между параметрами результата деятельности, гемодинамики и ВСР, проявляющаяся в возрастании общего количества при увеличении числа устойчивых и уменьшении – распавшихся взаимосвязей.
- Выявлены особенности пространственной организации потенциалов альфа- и тета-диапазонов фоновой ЭЭГ у испытуемых с различной результативностью когнитивной деятельности. Достижению высокого результата тестирования соответствует меньшее число когерентных взаимосвязей в альфа-диапазоне и большая когерентность потенциалов тета-диапазона ЭЭГ в системах внутри- и межполушарных взаимосвязей с фокусами в левой и правой центральных областях коры в исходном состоянии.

- Выявлены отличия пространственной организации потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ у испытуемых с различной результативностью когнитивной деятельности в зависимости от субъективной сложности задания. У высокорезультативных испытуемых при выполнении субъективно наиболее сложного задания наблюдалось уменьшение амплитуды альфа-ритма ЭЭГ фронтальных областей и когерентности потенциалов альфа-диапазона в теменно-затылочных областях коры, в то время как у низкорезультативных испытуемых – повышение когерентности потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ в системе взаимосвязей с фокусом в левой височной области коры.

Апробация работы. Материалы диссертации были доложены на 40-й, 41-й, 42-й, 45-й итоговых научных сессиях «Системная организация физиологических функций» ФГБНУ «НИИНФ им. П.К. Анохина» РАМН (Москва, 2015, 2016, 2017, 2020), на 11-й Всероссийской Бурденковской конференции, посвященной 70-летию победы в ВОВ (Воронеж, 2015), 4-й Международной междисциплинарной конференции «Современные проблемы системной регуляции физиологических функций» (Москва, 2015), конференции с Международным участием «Медицинская весна-2016» (Москва, 2016), 8-й Международной конференции по когнитивной науке (Светлогорск, 2018).

Публикации. Материалы диссертации представлены в 14 публикациях, из них 6 в журналах из списка ВАК.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 145 страницах печатного текста, содержит 18 рисунков и 18 таблиц. Работа включает в себя следующие разделы: «Введение», «Обзор литературы», «Материалы и методы исследования», «Результаты исследования», «Обсуждение результатов», «Выводы», «Список используемой литературы». Список литературы включает 255 источник, из них 146 отечественных и 109 зарубежных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Организация исследования

Диссертационная работа выполнена на кафедре нормальной физиологии ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет). Исследование состояло из трех серий и проведено в соответствии с правовыми основами, после подписания участниками добровольного информированного согласия.

В **серии-1** и **серии-2** обследовано 64 студента-медика (по 32 человека в каждой серии, по 16 юношей и 16 девушек с учетом фолликулярной фазы менструального цикла) в возрасте от 18 до 21 года, правши. Исследовали динамику показателей ВСП студентов в процессе выполнения когнитивного задания в виде решения компьютерного теста по курсу нормальной физиологии, состоящего из 30 вопросов трех типов: 1 – один верный ответ, 2 – ответ по коду, 3 – установить верность утверждений и связь между ними. Задание считалось выполненным, если количество правильных ответов равнялось 50% и более, время выполнения работы не ограничивалось.

Исследование проводили в день сдачи первого, согласно учебному плану, коллоквиума по физиологии. При этом в **серии-1** успешное выполнение задания не влияло на оценку зачетной работы и при решении теста студенты не получали обратной афферентации. В **серии-2** испытуемые выполняли задание в условиях наличия дополнительной мотивации и обратной афферентации. Для создания дополнительной мотивации при прохождении 50%-порога студенты получали оценку «отлично». Уровень мотивации испытуемых оценивали при помощи модифицированной шкалы AMS [Vallerand R.J. et al., 1992; Гордеева Т.О. и др., 2014]. Кроме того, в серии-2 при ответе на каждый тестовый вопрос испытуемые получали обратную афферентацию в виде сообщения: «верно» / «неверно», а по завершении теста отображался общий результат: «задание выполнено» / «не выполнено».

В остальном, программа исследования для серии-1 и серии-2 была аналогичной и состояла из следующих пунктов:

1. До решения теста оценивали уровни личностной и ситуационной тревожности по Спилбергеру, полушарное доминирование по тесту «художник-мыслитель», психофизиологические особенности по Айзенку [Васильева И.В., 2010], параметры простой сенсомоторной реакции и реакции на движущийся объект.

2. Перед выполнением теста измеряли систолическое (СД) и диастолическое (ДД) артериальное давление по методу Короткова, частоту сердечных сокращений (ЧСС), регистрировали кардиоинтервалограмму (КИГ) в течение 5 минут.

3. Решение компьютерного теста.

4. Регистрация КИГ в течение 5 минут в состоянии после тестирования, повторное определение СД, ДД и ЧСС.

На основе полученных значений артериального давления и пульса, расчетным способом [Гайтон А.К. и др., 2018] определяли следующие **гемодинамические показатели**: пульсовое давление (ПД), среднединамическое давление (СДД), ударный и минутный объем кровообращения (УОК, МОК), периферическое сопротивление сосудов (ПСС).

Регистрацию КИГ осуществляли при помощи аппаратно-программного комплекса «Варикард» (ООО Институт внедрения новых медицинских технологий «Рамена», г. Рязань), в положении сидя, во II стандартном отведении, в течение 5 минут, согласно рекомендациям [Баевский и др., 2001].

Обработку КИГ осуществляли при помощи программного обеспечения, позволяющего проводить автоматическую расстановку маркеров интервалов RR и удаление артефактов вручную.

Использовали статистические характеристики и результаты спектрального анализа ВСР [Баевский Р.М. и др., 2001; Кулаичев А.П., 2016]: SDNN (мс), рNN50 (%), RMSDD (мс), CV (%), Amo (%), SI (усл. ед.), TP (мс²), HF (мс²) и PNF (% от TP), LF (мс²) и PLF (% от TP), VLF (мс²) и PVLF (% от TP), IC (усл. ед.), LF/HF (усл. ед.).

Показатели ВСР интерпретировали, основываясь на традиционной концепции, в соответствии с которой по мощности HF-диапазона судят об активности парасимпатического звена регуляции ритма сердца, повышение мощности LF компонента отражает активацию симпатического сосудистого центра, а LF/HF отражает баланс между симпатическими и парасимпатическими влияниями на сердечный ритм [Котельников С.А. и др., 2002; Баевский Р.М., 2006; 2013].

В серии-3 исследовали психофизиологические и электроэнцефалографические показатели студентов при решении компьютерного теста на фоне дополнительной мотивации и при наличии обратной афферентации о ходе выполнения задания. Обследовано 40 студентов-медиков в возрасте от 18 до 21 года (20 юношей и 20 девушек с учетом фолликулярной фазы менструального цикла), правши. Программа исследования состояла из следующих этапов:

1. До решения теста, оценивали психофизиологические параметры, аналогично серии-1 и серии-2, определяли уровень мотивации при помощи модифицированной шкалы AMS [Vallerand R.J. et al., 1992; Гордеева Т.О. и др., 2014].

2. Регистрация фоновой ЭЭГ: 1 мин с закрытыми глазами, 1 мин. с открытыми глазами.

3. Решение компьютерного теста при наличии обратной афферентации с одновременной регистрацией ЭЭГ.

4. Регистрация ЭЭГ после выполнения теста: 1 мин. с открытыми глазами, 1 мин с закрытыми глазами.

Для регистрации и записи биоэлектрической активности головного мозга использовали систему НЕОКОРТЕКС-С, версия 2.8 (Зеленоград). ЭЭГ регистрировали монополярно по стандартной схеме 10–20 в затылочных (О1, О2), теменных (Р3, Р4), центральных (С3, С4), лобных (F3, F4) и височных (Т3, Т4) отведениях, референт – объединенный ушной электрод. Полоса фильтрации – 0.5–35.0 Гц, постоянная времени – 0.3 с. Частота оцифровки сигнала 200 Гц. Обработку записей осуществляли при помощи пакета программ НЕОКОРТЕКС-С, артефакты удаляли вручную. Спектрально-когерентный анализ проводили на основе быстрого преобразования Фурье, эпоха анализа для спектрального анализа составляла 4096 мс, перекрытие – 2048 мс, для когерентного анализа – длина эпохи 4096 мс, перекрытие – 0 мс. Для анализа выбирали не менее 20 эпох. Эпохи анализа расставляли на безартефактные участки. Кросс спектры амплитуды (мкВ), коэффициенты когерентности рассчитывали для тета- (4-8 Гц) и альфа- (8-13 Гц) диапазонов.

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи пакета программ «Stat Soft-Statistica 8.0». Для оценки достоверности различий между двумя зависимыми выборками при нормальном распределении использовали t-критерий Стьюдента для зависимых выборок, при неправильном распределении – W-критерий Уилкоксона. Достоверность различий между двумя независимыми выборками при нормальном распределении определяли с помощью t-критерия Стьюдента, при распределении, отличающемся от нормального – с использованием U-критерия Манна-Уитни. Для оценки достоверности различий между тремя и более группами с нормальным распределением использовали дисперсионный анализ “Breakdown & one-way ANOVA”, при распределении, отличающемся от нормального, для зависимых выборок – Friedman ANOVA, для независимых выборок – Kruskal-Wallis ANOVA. При корреляционном анализе применяли метод ранговой корреляции по Спирмену [Реброва О.Ю., 2000].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результативность, уровень мотивации и психофизиологические особенности испытуемых

По результативности выполнения компьютерного теста испытуемые каждой серии были разделены на равные группы, по 16 человек: низкорезультативные (не прошедшие 50% порог) и высокорезультативные (преодолевшие 50%-порог). При этом результативность низкоуспешных была значимо меньше, чем высокоуспешных (рисунок 1).

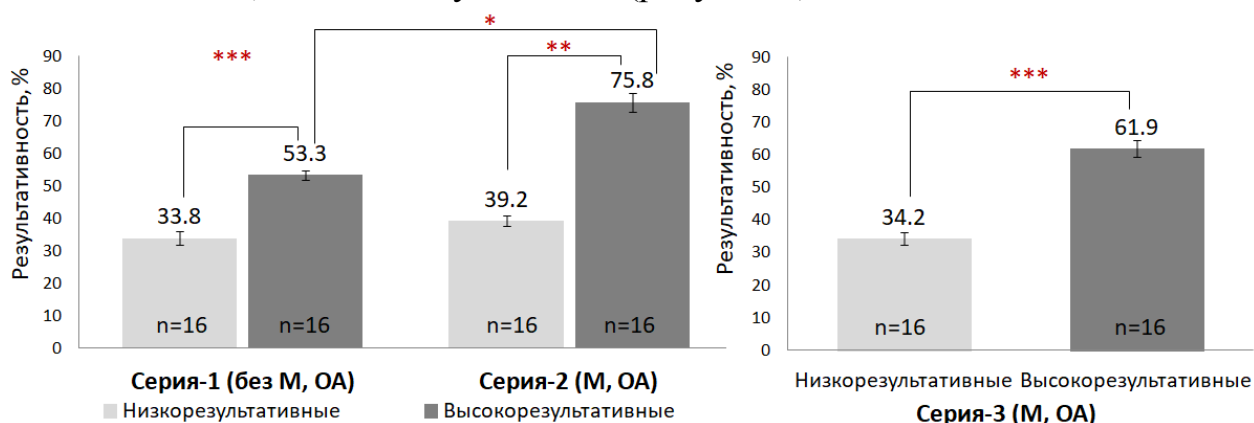


Рисунок 1. Результативность испытуемых

Примечание к рисунку 1: *** - $p < 0,001$, ** - $p < 0,01$, * - $p < 0,05$

В данном исследовании испытуемые были разделены на группы высоко- и низкорезультативных студентов на основании результата учебного компьютерного теста. При этом результативность тестирования можно соотносить с успеваемостью студентов, в связи с наличием литературных данных, свидетельствующих о наличии прямой корреляции между числом точных ответов в учебном компьютерном тесте и оценкой, полученной впоследствии на экзамене, проводимом в традиционной форме [Джебраилова Т.Д. и др., 2012].

При наличии дополнительной мотивации и обратной афферентации о ходе выполнения задания (серия-2) результативность высокоуспешных студентов была достоверно выше, чем в одноименной группе при тестировании в обычных условиях (серия-1) (рисунок 1). В серии-2 и в серии-3 с учетом создания дополнительной мотивации в виде возможности получения оценки «отлично» при успешном выполнении компьютерного теста, оценивали уровень мотивации испытуемых посредством модифицированной шкалы AMS, при этом уровень мотивации низкорезультативных испытуемых был значимо ниже, чем у высокорезультативных. Таким образом, более высокий уровень мотивации способствовал достижению лучшего результата когнитивной деятельности.

Имеются данные, что психофизиологические особенности испытуемых, в частности, уровень экстраверсии-интроверсии, личностной и ситуационной тревожности оказывают влияние на успешность [Campbell A.M., 2011] и скорость [Lieberman, M.D., 2000] выполнения когнитивных задач, а также на параметры ЭЭГ [Inanaga K., 1998; Кондратьева О.Г. и др., 2010; Асланян Е.В. и др., 2015] и ВСР [Зарипов В.Н. и др., 2008]. В настоящем исследовании у испытуемых с различной успешностью выполнения учебного компьютерного теста не выявлено значимых отличий психофизиологических особенностей: низко- и высокорезультативные студенты были преимущественно эмоционально устойчивыми экстравертами, с низким уровнем личностной и ситуационной тревожности. Таким образом, исследуемые группы можно считать однородными по вышеперечисленным характеристикам, что позволяет исключить влияние этих показателей на динамику параметров ВСР, ЭЭГ, а также на результативность деятельности.

Гемодинамические характеристики и показатели ВСР низко- и высокорезультативных испытуемых в обычных условиях (серия-1) и при наличии дополнительной мотивации и обратной афферентации (серия-2)

Для низкорезультативных студентов при наличии дополнительной мотивации и обратной афферентации (серия-2) в сравнении с тестированием в обычных условиях (серия-1) в исходном состоянии характерно достоверно большее значение очень низкочастотного компонента спектра (PVLf), индекса централизации (IC) и меньшее – высокочастотного компонента спектра (PHF) и RMSDD (рисунок 2). После тестирования выявлено достоверно большее значение стресс-индекса напряжения и меньшее – RMSDD, pNN50, среднеквадратичного отклонения (SDNN) (рисунок 2).

У высокорезультативных студентов при наличии дополнительной мотивации и обратной афферентации (серия-2) по сравнению с одноименной группой серии-1 до выполнения теста установлено достоверно большее значение показателей, характеризующих симпатико-адреналовую активность (PLF, SI, LF/HF), а также индекса централизации (IC), при достоверно меньшем значении параметров, указывающих на активацию парасимпатического звена (RMSDD, pNN50, PHF). После тестирования, наряду с вышеперечисленными отличиями, у высокоуспешных испытуемых серии-2 выявлено достоверно меньшее значение среднеквадратичного отклонения (SDNN и CV) (рисунок 3).

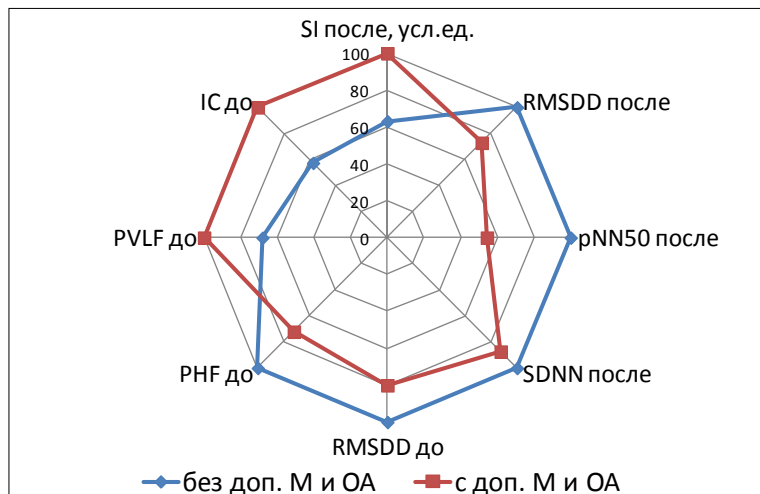


Рисунок 2. Значимые отличия параметров ВСП низкорезультативных студентов при тестировании в обычных условиях и при наличии дополнительной мотивации и обратной афферентации, в нормированных относительно максимума единицах.

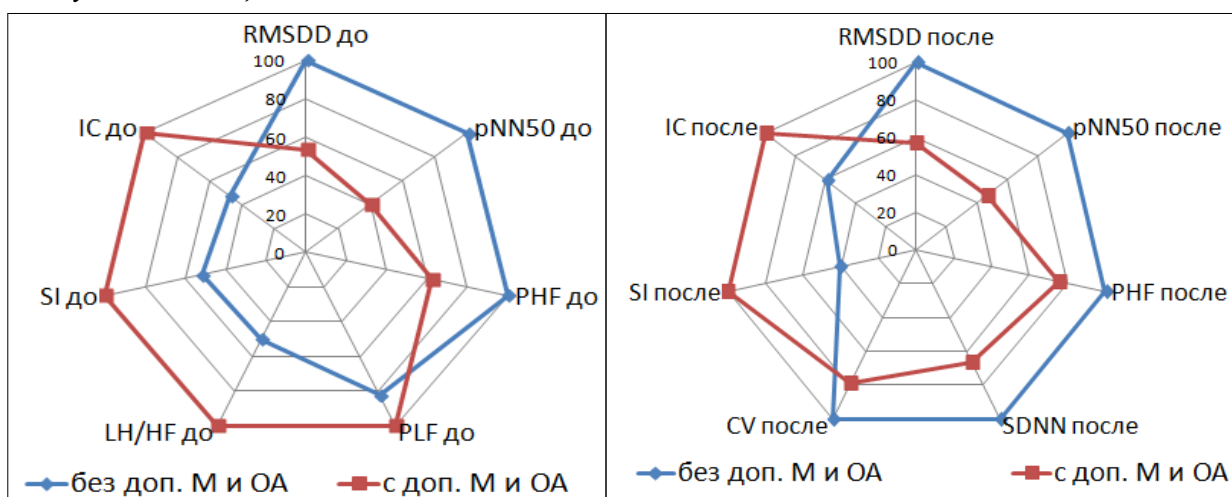


Рисунок 3. Значимые отличия параметров ВСП высокорезультативных студентов при тестировании в обычных условиях и при наличии дополнительной мотивации и обратной афферентации, в нормированных относительно максимума единицах

Таким образом, независимо от результативности испытуемых, когнитивная деятельность в условиях дополнительной мотивации и обратной афферентации о ходе выполнения задания сопровождалась активацией центральных надсегментарных и симпатических влияний на вариабельность сердечного ритма (достоверно большее значение PVLf, PLF, IC, SI) при уменьшении роли парасимпатического компонента (показатели pNN50, RMSDD, SDNN, PHF). Вероятно, подобная динамика может указывать на мобилизацию механизмов регуляции сердечного ритма для достижения полезного приспособительного результата в условиях дополнительной мотивации.

Корреляционный анализ. Как известно, регуляция сердечного ритма и гемодинамики в системе кровообращения осуществляется посредством

вегетативных центров, расположенных в различных отделах центральной нервной системы, включая лобную кору, ретикулярную формацию, гипоталамус, гиппокамп, миндалину и моторные ядра блуждающего нерва [Posner M.I. et al., 1994; Афтанас Л.И. и др., 2013]. При этом вегетативные отделы центральной нервной системы вовлечены не только в регуляцию сердечного ритма, но и в когнитивную и аффективную функции [Thayer J.F. et al., 2004]. В этой связи, можно предположить наличие динамических связей между группами нейронов центров, контролирующими работу сердца и тонус кровеносных сосудов, а также нейронов, обеспечивающих психосоматическую сферу, в частности, психофизиологические реакции индивидуума. С учетом вышеизложенного, был проведен анализ структуры корреляционных взаимосвязей между параметрами результата когнитивной деятельности, показателями гемодинамики и ВСР в исходном состоянии и после выполнения тестов. Связи между параметрами, получаемыми расчетным способом и находящимися в прямо- или в обратнопропорциональной зависимости друг от друга, исключались.

Среди корреляционных связей выделили устойчивые, распавшиеся (существовавшие до выполнения задания и не характерные для состояния после тестирования) и возникшие (не выявленные в исходном состоянии и появившиеся после выполнения теста). На рисунке 4 в качестве примера представлена корреляционная плеяда, иллюстрирующая формирование взаимосвязей между исследуемыми показателями в группе низкорезультативных студентов серии-2.

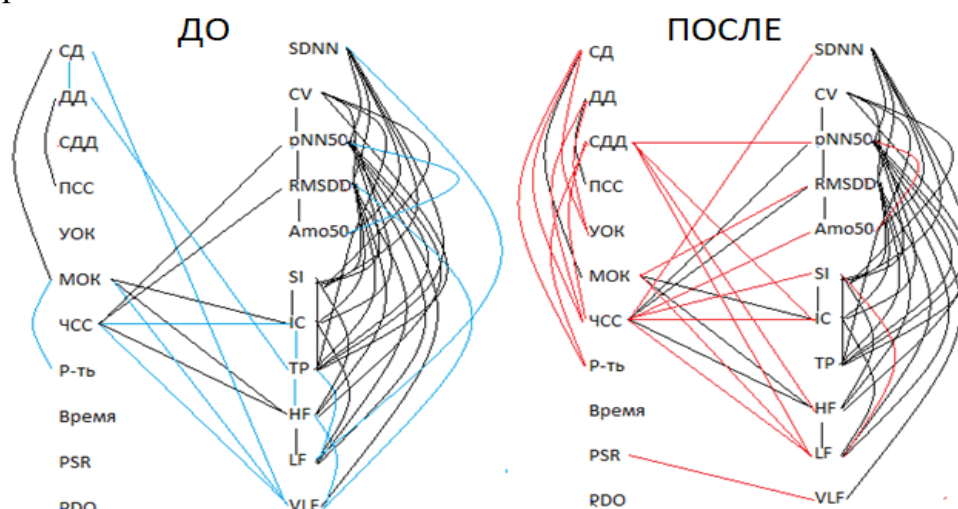


Рисунок 4. Формирование корреляционных связей на примере низкорезультативных студентов серии-2

Примечание к рисунку 4: черный – устойчивые связи, синий – распавшиеся, красный – возникшие.

В условиях повышенной мотивации и обратной афферентации (серия-2) по сравнению с тестированием в обычных условиях при достижении высокого результата теста наблюдалось уменьшение общего количества и числа устойчивых корреляционных взаимосвязей, при увеличении количества как распавшихся, так и вновь образованных взаимосвязей (рисунок 5). С учетом увеличения напряжения регуляторных систем, что было показано при анализе параметров ВСР, большее число распавшихся и меньшее – устойчивых корреляционных связей может указывать на увеличение физиологической стоимости деятельности испытуемых при наличии дополнительной мотивации. С другой стороны, распад исходно наблюдавшихся и формирование новых связей может указывать на динамическую перестройку взаимодействия компонентов функциональных систем, включенных в физиологическое обеспечение когнитивной деятельности, связанную с достижением высокого результата.

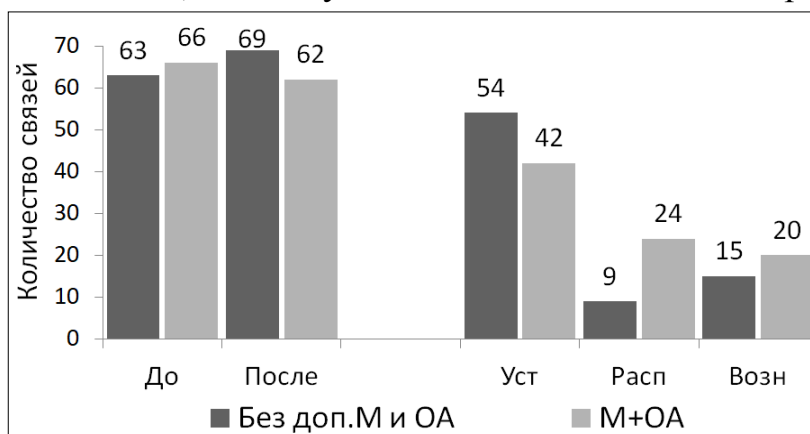


Рисунок 5. Формирование корреляционных связей у высокорезультативных студентов при тестировании в обычных условиях и при наличии дополнительной мотивации и обратной афферентации

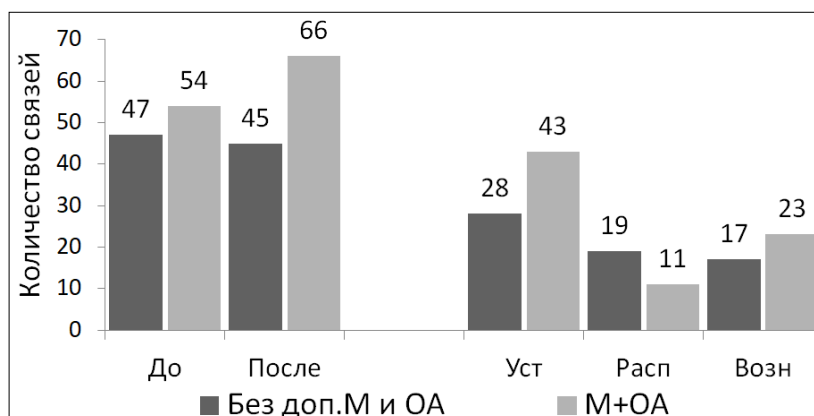


Рисунок 6. Формирование корреляционных связей у низкорезультативных студентов при тестировании в обычных условиях и при наличии дополнительной мотивации и обратной афферентации

У низкорезультативных студентов при наличии дополнительной мотивации и обратной афферентации по сравнению с тестированием в обычных условиях как до, так и после выполнения задания число корреляционных взаимосвязей возрастало, при увеличении доли устойчивых и снижении – распавшихся взаимосвязей (рисунок 6). В литературе приводятся сведения о том, что для студентов с высокой тревожностью характерна устойчивость структуры корреляционных взаимосвязей характеристик variability сердечного ритма при переходе от этапа к этапу тестирования, свидетельствующая об относительной инертности механизмов регуляции сердечной деятельности [Сулейманова Р.Г., 2012, 2013], однако в этом исследовании не анализировали динамику структуры корреляционных связей в зависимости от результативности выполняемой деятельности. С другой стороны, показано, что эмоциональный стресс характеризуется снижением кросс-корреляционных взаимосвязей между артериальным давлением, частотой сердечных сокращений и дыханием вследствие дезинтеграции деятельности разных функциональных систем [Судаков К.В. и др., 1995; Юматов Е.А. 2017]. Эти различия могут быть связаны с использованием разных методов статистического анализа результатов: непараметрического корреляционного анализа по Спирмену и расчета коэффициентов кросс-корреляции.

Наблюдаемое в данном исследовании увеличение общего числа и, в частности, устойчивых корреляционных взаимосвязей при уменьшении количества распавшихся связей, свидетельствующее об инертности структуры корреляционных взаимосвязей, можно рассматривать как отражение формирования застойного отрицательного эмоционального состояния низкорезультативных испытуемых.

ЭЭГ показатели студентов с различной успешностью выполнения компьютерного теста (серия-3)

Спектральные характеристики альфа-ритма ЭЭГ. При анализе спектральных характеристик альфа-ритма ЭЭГ показано, что для высокорезультативных студентов характерна более выраженная десинхронизация во время выполнении когнитивного задания, по сравнению с низкорезультативными (рисунок 7). У высокорезультативных испытуемых компьютерное тестирование протекало на фоне значимого снижения амплитуды альфа-ритма в теменных (P4, P3) и в левом центральном (C3) отведениях в сравнении с состоянием до и после тестирования. Подобная десинхронизация

ЭЭГ в альфа-диапазоне может быть связана, как с повышением уровня внимания [Shaw J.S., 2003; Fink A. et al., 2005; Klimesch W. et al., 2007], так и с эффективным использованием долговременной памяти [Новикова С.И., 2015] высокорезультативными испытуемыми. В этой же группе выявлены отличия спектральных характеристик при решении заданий различных типов: в лобных отведениях амплитуда альфа-ритма при выполнении тестов второго типа (ответ по коду) достоверно уменьшалась, при этом субъективно испытуемые выделяли второй тип заданий, как наиболее сложный. С одной стороны, этот факт согласуется с литературными данными о том, что степень десинхронизации альфа-ритма находится в прямой зависимости от сложности выполняемой задачи [Fink A. et al., 2009]. С другой стороны, в нашей работе показано, что зависимость амплитуды альфа-ритма от сложности задания проявляется только у индивидов, достигающих высокого результата. Для низкорезультативных студентов различий в значениях амплитуды альфа-ритма в зависимости от сложности задания не обнаружено (рисунок 7).

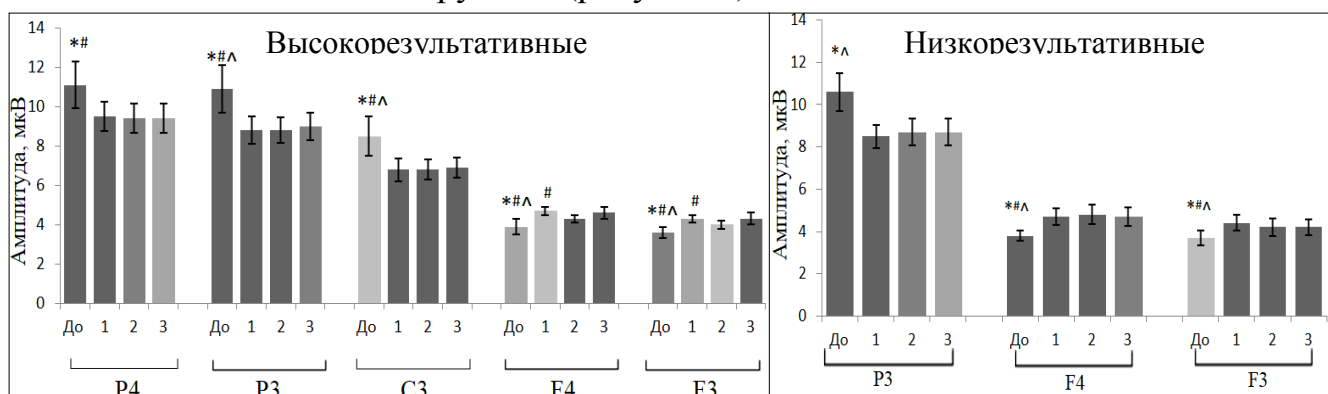


Рисунок 7. Значимая динамика амплитуды альфа-ритма (мкВ) ЭЭГ у высоко- и низкорезультативных студентов до и во время тестирования, ОГ

Примечание к рисунку 7: * – $p < 0,05$ при сравнении с 1 типом тестовых заданий, # – $p < 0,05$ при сравнении со 2 типом тестовых заданий, ^ – $p < 0,05$ при сравнении с 3 типом тестовых заданий. 1, 2, 3 – 1, 2 и 3 типы тестовых заданий. ОГ – глаза открыты.

Когерентный анализ биопотенциалов альфа-диапазона ЭЭГ. Данные когерентного анализа согласуются с вышеприведенными результатами спектрального анализа. У высокорезультативных студентов во время тестирования, по сравнению с исходным состоянием, достоверно снижалась сила когерентных связей в левой теменно-затылочной зоне, что указывает на активацию соответствующих областей коры. Во время решения субъективно наиболее сложных заданий (2 тип) связь между левыми центральной и теменной областями и межполушарные (P3-O2, P4-O1) когерентные связи были достоверно

ниже, чем при решении 1 типа тестов, а взаимосвязь между теменными зонами P3-P4 – слабее, чем при 3 типе заданий, что согласуется с достоверно меньшей амплитудой альфа-ритма при выполнении 2 типа тестов и большим количеством ошибок, допущенных в этих заданиях (рисунок 8). У низкорезультативных студентов в исходном состоянии число когерентных взаимосвязей в альфа-диапазоне было выше. Решение наиболее сложных заданий (2 тип тестов), в отличие от высокорезультативных испытуемых, сопровождалось повышением когерентности биопотенциалов альфа-диапазона ЭЭГ с фокусом в левой височной области (рисунок 9).

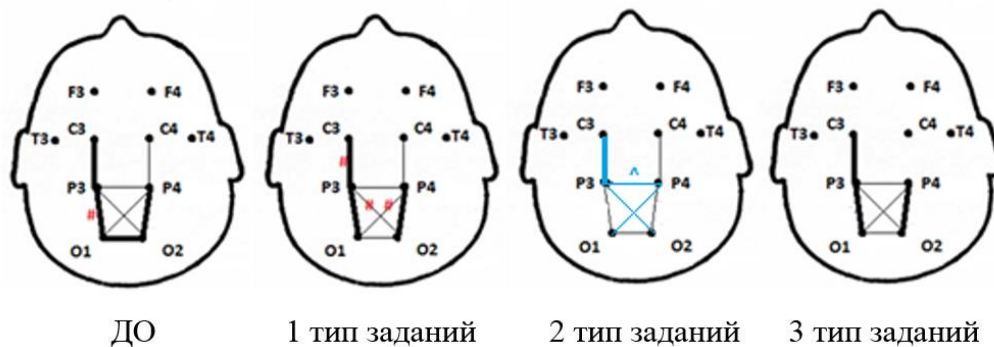


Рисунок 8. Динамика коэффициентов когерентности альфа-ритма ЭЭГ у высокорезультативных студентов до и во время выполнения компьютерного теста, глаза открыты

Примечание к рисунку 7: # – $p < 0,05$ при сравнении со 2 типом тестовых заданий, ^ – $p < 0,05$ при сравнении с 3 типом тестовых заданий. Красный – достоверно большее значение КК, синий – меньшее. – КК 0,5-0,69; — КК > 0,7

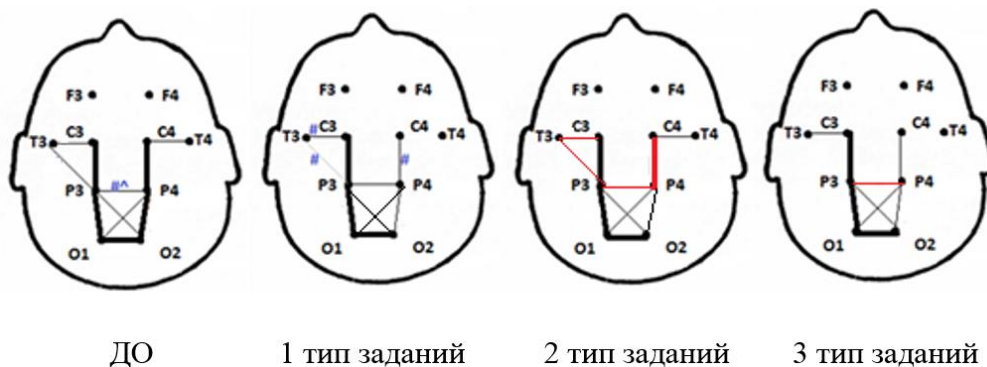


Рисунок 9. Динамика коэффициентов когерентности альфа-ритма ЭЭГ у низкорезультативных студентов до и во время выполнения компьютерного теста, глаза открыты

Примечание к рисунку 9: # – $p < 0,05$ при сравнении со 2 типом тестовых заданий, ^ – $p < 0,05$ при сравнении с 3 типом тестовых заданий. Красный – достоверно большее значение КК, синий – меньшее. – КК 0,5-0,69; — КК > 0,7

Спектрально-когерентные характеристики тета-диапазона ЭЭГ. Вне зависимости от результативности, когнитивная деятельность сопровождалась

повышением амплитуды тета-ритма во всех исследуемых областях коры. Достоверных различий абсолютных значений амплитуды тета-ритма у низко- и высокорезультативных испытуемых в исходном состоянии и во время когнитивной деятельности не выявлено.

Когерентный анализ. В ходе когерентного анализа показано, что в исходном состоянии имели место значимые отличия когерентных взаимосвязей в тета-диапазоне у испытуемых с различной результативностью когнитивной деятельности. У высокорезультативных студентов в исходном состоянии при закрытых и открытых глазах наблюдалась большая, чем у низкорезультативных, когерентность потенциалов тета-диапазона ЭЭГ в системах внутри- и межполушарных взаимосвязей с фокусом в левой и правой центральных областях коры (рисунок 10). Подобные фоновые отличия указывают на более выраженную активацию структур головного мозга и, соответственно, большую предпусковую готовность к осуществлению целенаправленной деятельности высокоуспешными испытуемыми, что можно рассматривать в качестве предиктора высокого результата когнитивной деятельности.

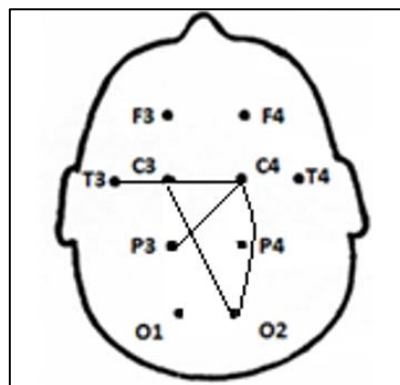


Рисунок 10. Достоверно более высокие значения коэффициентов когерентности тета-ритма ЭЭГ у высокорезультативных студентов по сравнению с низкорезультативными в исходном состоянии

Кроме того, в исходном состоянии для высокорезультативных студентов характерна несимметричная интеграция между затылочными, теменными, центральными, височными и лобными областями правого и левого полушарий, а также формирование межполушарных взаимосвязей между затылочными, височными, затылочно-височными зонами. Во время выполнения задания обращало на себя внимание усиление внутриволнового когерентных взаимосвязей, с вовлечением лобных, теменных, височных и центральных областей, а также межполушарных теменных связей, при этом решение субъективно наиболее сложных заданий (2 тип тестов) сопровождалось

интеграцией лобной, центральной, теменной и височной областей правого полушария (рисунок 11). С учетом того, что правое полушарие и, особенно, его лобные области, связано с потребностно-мотивационной сферой [Симонов П.В., 1981], широкое вовлечение правой лобной области в формирование когерентных связей можно рассматривать как коррелят высокого уровня мотивации высокорезультативных студентов, что подтверждено данными модифицированной шкалы AMS. Кроме того, локализацию фокусов взаимодействия в лобных областях и интеграцию этих зон с переднеассоциативными и височными отделами можно рассматривать как отражение выработки стратегии когнитивной деятельности при получении и использовании обратной связи [Кошельков Д.А. и др., 2010].

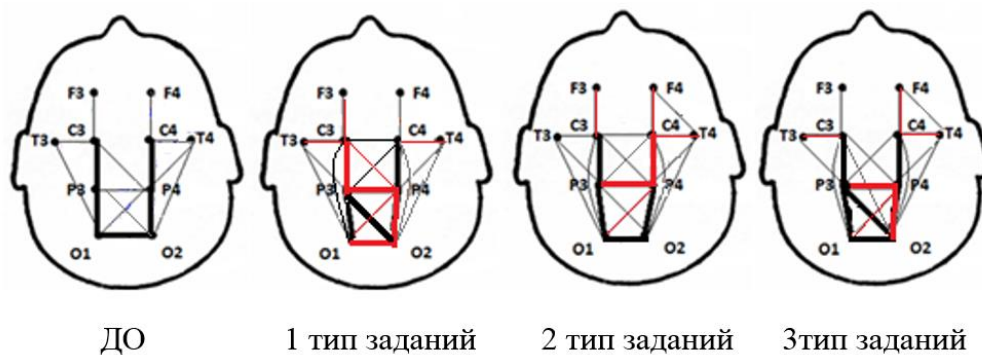


Рисунок 11. Динамика коэффициентов когерентности тета-ритма ЭЭГ у высокорезультативных студентов в исходном состоянии и во время выполнения компьютерного теста, глаза открыты

Примечание к рисунку 11: Красным обозначено достоверно большее значение КК по сравнению с состоянием ДО тестирования. – КК 0,5-0,69; — КК > 0,7.

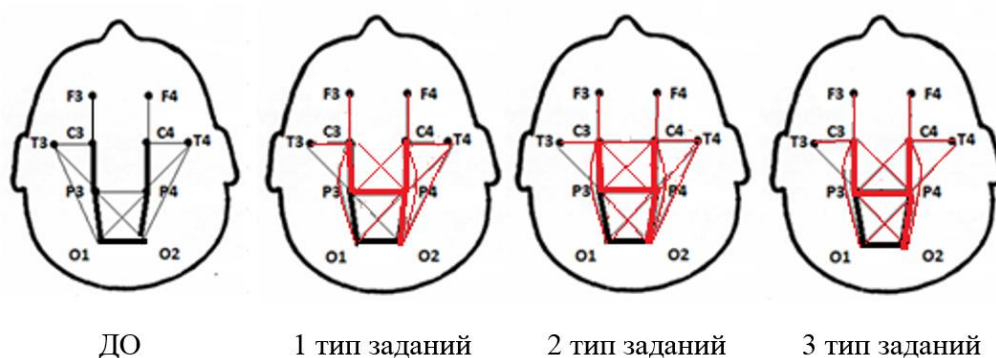


Рисунок 12. Динамика коэффициентов когерентности тета-ритма ЭЭГ у низкорезультативных студентов в исходном состоянии и во время выполнения компьютерного теста, глаза открыты

Примечание к рисунку 12: Красным обозначено достоверно большее значение КК по сравнению с состоянием ДО тестирования. – КК 0,5-0,69; — КК > 0,7.

У низкорезультативных испытуемых во время тестирования отмечено усиление большого числа внутри- и межполушарных взаимосвязей, с вовлечением симметричных зон правого и левого полушарий (рисунок 12). Имеются данные, что тета-активность, выраженная в виде топографически распределенного ритма, указывает на снижение уровня бодрствования, усталость, невнимательность [Schacter D.L., 1977], а когнитивную деятельность сопровождает усиление тета-ритма по срединной линии в лобно-центральных областях коры [Meltzer J.A. et al., 2009; Афтанас Л.И. и др., 2013]. Таким образом, симметричное усиление большого числа внутри и межполушарных взаимосвязей может указывать не на активацию, а на утомление низкорезультативных испытуемых в процессе решения компьютерного теста.

ВЫВОДЫ

1. Наличие дополнительной мотивации и обратной афферентации о ходе выполнения тестов содействовало достижению лучшего результата при увеличении физиологической стоимости когнитивной деятельности, которое проявлялось в активации центрального контура регуляции при усилении симпатических и ослаблении парасимпатических влияний на сердечный ритм.
2. При достижении высокого результата тестирования в условиях дополнительной мотивации и обратной афферентации, по сравнению с тестированием в обычных условиях, уменьшалось число устойчивых и возрастало число распавшихся и вновь образовавшихся корреляционных взаимосвязей между параметрами результата деятельности, гемодинамики и ВСР. Изменение структуры корреляционных взаимосвязей отражает динамическую перестройку взаимодействия компонентов функциональных систем, включенных в физиологическое обеспечение когнитивной деятельности.
3. При низкой результативности тестирования в условиях дополнительной мотивации и обратной афферентации, по сравнению с тестированием в обычных условиях, наблюдалось увеличение общего количества и устойчивых связей при уменьшении числа распавшихся корреляционных взаимосвязей между параметрами результата деятельности, гемодинамики и ВСР. Инертность структуры корреляционных взаимосвязей можно

рассматривать как проявление формирования отрицательного эмоционального состояния у низкорезультативных испытуемых.

4. Выявлены особенности динамики амплитуды альфа-ритма ЭЭГ у испытуемых с различной результативностью когнитивной деятельности в зависимости от субъективной сложности теста. У высокорезультативных студентов при выполнении наиболее сложного задания наблюдалась наименьшая амплитуда альфа-ритма ЭЭГ фронтальных областей коры. У низкорезультативных студентов различий в значениях амплитуды альфа-ритма в зависимости от сложности задания не обнаружено.
5. В исходном состоянии для высокорезультативных студентов, в отличие от низкорезультативных, характерно меньшее число когерентных связей в альфа-диапазоне ЭЭГ. Также, выявлены отличия динамики когерентности потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ у испытуемых с различной результативностью когнитивной деятельности в зависимости от субъективной сложности задания. При выполнении наиболее сложных заданий у высокорезультативных испытуемых отмечено уменьшение силы когерентных связей в альфа-диапазоне в межполушарных теменно-затылочных и теменных областях коры. Для низкорезультативных испытуемых характерно повышение когерентности биопотенциалов альфа-диапазона ЭЭГ с фокусом в левой височной области при выполнении наиболее сложных заданий.
6. У высокорезультативных студентов в исходном состоянии при открытых и закрытых глазах наблюдалась большая, чем у низкорезультативных, когерентность потенциалов тета-диапазона ЭЭГ в системах внутри- и межполушарных взаимосвязей с фокусом в левой и правой центральных областях коры, что отражает функциональное объединение корковых зон в ситуации готовности к деятельности на фоне высокой мотивации.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Андрианов В.В., Василюк Н.А., Бирюкова Е.В., Казакова В.В. Особенности физиологического обеспечения учебного процесса // Медицинское образование и вузовская наука. – №4 (2). – 2013. – С.63-67.
2. Андрианов В.В., Василюк Н.А., Бирюкова Е.В., Казакова В.В. Физиологические показатели студентов при выполнении учебных тестовых компьютерных задач // Сеченовский вестник. – №4(14). – 2013 – с.25-30.

3. Андрианов В.В., Василюк Н.А., Бирюкова Е.В., Казакова В.В. Вегетативные и психофизические показатели студентов в процессе учебного компьютерного тестирования // Академический журнал Западной Сибири. – №3(52), том 10. – 2014 г. – С.49.
4. Андрианов В.В., Василюк Н.А., Бирюкова Е.В., Казакова В.В. Динамика интегрального показателя регуляторных систем при выполнении учебного задания. // X Международный Междисциплинарный конгресс «Нейронаука для медицины и психологии»: Тезисы докладов. – Судак, Крым, Россия, 02-12.06.2014.
5. Андрианов В.В., Василюк Н.А., Бирюкова Е.В., Казакова В.В. Компьютерное тестирование: физиологические и психофизиологические аспекты // Всероссийская научно-практическая конференция «Возрастные особенности адаптации организма к физическим и психическим нагрузкам»: Тезисы докладов. – Ярославль, 16-17.10.2014. – С.10-13.
6. Андрианов В.В., Василюк Н.А., Бирюкова Е.В. Гемодинамика и вариабельность сердечного ритма при напряженной интеллектуальной деятельности студентов при решении компьютерных учебных тестов // Четвертая Международная междисциплинарная конференция «Современные проблемы системной регуляции физиологических функций»: Тезисы докладов. – Москва, 17-18.09.2015. – С.50-53.
7. Андрианов В.В., Василюк Н.А., Бирюкова Е.В. Психофизиологические и сердечно-сосудистые механизмы обеспечения учебной деятельности студентов // **Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова.** – №3. – 2015 г. – С.32-36.
8. Бирюкова Е.В. Андрианов В.В. Гемодинамические аспекты учебного компьютерного тестирования студентов медицинского университета // Молодежный инновационный вестник. – №1. – 2015. – С.231-234.
9. Андрианов В.В., Василюк Н.А., Бирюкова Е.В. Когнитивная деятельность студентов и её гемодинамическое обеспечение // **Вестник новых медицинских технологий.** – Том 24, №2. – 2017. – С.130-135.
10. Бирюкова Е.В., Андрианов В.В. Электрофизиологические особенности обеспечения учебной деятельности. // XXIII съезд Физиологического общества им. И. П. Павлова: Тезисы докладов. – Воронеж, 18-22.09.2017. – С.1420-1422.
11. 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.** – № 10. – 2018. – С.1215-1226.

12. Бирюкова Е.В., Андрианов В.В. Электрофизиологические механизмы обеспечения учебной деятельности студентов на примере анализа динамики тета-ритма ЭЭГ // Восьмая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов. – Светлогорск, 18-21 октября 2018 г. – С.139-141.
13. Бирюкова Е.В., Василюк Н.А., Андрианов В.В. Роль обратной афферентации и мотивации в гемодинамических механизмах обеспечения когнитивной деятельности студентов // **Вестник новых медицинских технологий.**– Т.26, №1. – 2019. – С.57-62.
14. Бирюкова Е.В., Василюк Н.А., Андрианов В.В. Гендерные особенности variability сердечного ритма и гемодинамического обеспечения учебной деятельности студентов // **Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова.** – Т. 27., №2. – 2019. – С.188-196.

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АМ₀ – амплитуда моды; CV – коэффициент вариации; HF – мощность спектра высокочастотного компонента (0,15–0,4 Гц); IC – индекс централизации; LF – мощность спектра низкочастотного компонента (0,04–0,15 Гц); LF/HF – индекс ваго-симпатического взаимодействия; pNN50 – число пар кардиоинтервалов с разностью более 50 мс. в % к общему числу кардио- интервалов в массиве; RMSSD – квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов; SDNN – стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов; SI – стресс индекс напряжения; TP – суммарная мощность спектра (0,003–0,40 Гц); VLF – мощность спектра очень низкочастотного компонента (0,015-0,04 Гц); BCP – variability сердечного ритма; КИГ – кардиоинтервалограмма; КК – коэффициент когерентности; М – мотивация; МОК – минутный объем кровообращения; ОА – обратная афферентация; ОГ – глаза открыты; ПД – пульсовое давление; ПСС - периферическое сопротивление сосудов; СДД – среднединамическое давление; УОК – ударный объем кровообращения; ЧСС – частота сердечных сокращений; ЭЭГ – электроэнцефалограмма.