

На правах рукописи

УДК 612.821

Каратыгин Николай Алексеевич

**ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ РАЗЛИЧНОЙ
РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

03.03.01 — Физиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Москва — 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина» (ФГБНУ «НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина»)

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор кафедры нормальной физиологии ГБОУ ВПО «Первый МГМУ им. И.М.Сеченова» Минздрава России
Джебраилова Тамара Джебраиловна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии ГБОУ ВПО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России
Смирнов Виктор Михайлович

доктор биологических наук, профессор кафедры нормальной физиологии и медицинской физики лечебного факультета ГБОУ ВПО «МГМСУ им. А.И. Евдокимова» Минздрава России
Сорокина Наталия Дмитриевна

Ведущая организация: Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ГБОУ ВПО РязГМУ Минздрава России)

Защита диссертации состоится « 24 » декабря 2015 года в 11 ч. 00 мин. на заседании Диссертационного совета Д. 001. 008. 01 при ФГБНУ «НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина» по адресу: 125009, г. Москва, ул. Моховая, д. 11, стр. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина» и на сайте <http://nphys.ru/>

Автореферат разослан « » октября 2015 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



О.В. Кубряк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Интеллектуальная деятельность человека чрезвычайно многогранна, и уже длительное время является предметом пристального изучения научного сообщества. Однако, несмотря на успехи, достигнутые в некоторых областях, проблема поиска физиологических и, в частности, электрофизиологических коррелятов отдельных характеристик интеллектуальной деятельности остается весьма актуальной. В настоящее время особый интерес представляет интеллектуальная деятельность, связанная с работой на компьютере, так как происходит интенсивное внедрение информационных компьютерных технологий во многие сферы повседневной жизни, начиная от образования и заканчивая профессиональной деятельностью самого широкого круга специалистов. Все актуальнее становятся вопросы профессионального отбора и пригодности к выполнению сложной операторской деятельности, а также вопросы разработки методик диагностики изменения функционального состояния человека по ходу выполнения компьютеризированной деятельности. Как в отечественной, так и в зарубежной литературе приводятся многочисленные данные о том, что работа на компьютере связана с эмоциональным напряжением, вызывающим физиологические, психологические и поведенческие изменения (Обзор ВОЗ, 1989; Фатхутдинова Л.М., 2004; Travers P.H., Stanton B.A., 2002; Ishihara I. et al., 2005; Ostrovsky A. et al., 2012). При этом надо отметить, что успешность выполняемой деятельности является одним из самых значимых факторов, влияющих на состояние психологического и эмоционального комфорта, что в свою очередь обеспечивает адекватное выполнение профессиональных обязанностей и минимизацию отрицательного влияния на здоровье человека-оператора. Это обуславливает актуальность исследования физиологического обеспечения компьютеризированной интеллектуальной деятельности с целью выявления физиологических факторов, способствующих достижению высокого результата.

Методы электроэнцефалографии и электрокардиографии традиционно являются наиболее часто используемыми способами оценки физиологического обеспечения интеллектуальной деятельности человека.

В показателях мощности и когерентности ЭЭГ находят отражение различные аспекты деятельности мозга. При этом мощность потенциалов различных диапазонов ЭЭГ рассматривают как характеристику локальной активности нейронных ансамблей в той или иной области коры, а когерентность – как показатель степени связанности и согласованной работы нейронных

ансамблей различных отделов коры головного мозга (Ливанов М.Н., 1972; Бехтерева Н.П., Нагорнова Ж.В., 2007). В частности, анализ когерентности ЭЭГ сигналов в парах корковых зон позволяет оценить степень их функциональной связанности (functional connectivity), которая определяется как корреляция пространственно удаленных нейрофизиологических событий (Fingelkurts A., et al., 2005), в данном случае частотных составляющих ЭЭГ (Мачинская Р.И., Курганский А.В., 2012). В литературе можно найти значительное количество исследований, в которых рассматривается связь разных ритмических и пространственно-временных параметров ЭЭГ с составляющими интеллектуальной деятельности, такими как восприятие [Aoki F. et al., 2001; Hanslmayr S. et al., 2007; Zhang Y. et al., 2008], внимание [Pulvermüller F. et al., 1997; Fries P. et al., 2001; Hanslmayr S. et al., 2011], память [Sarnthein J. et al., 1998; Klimesch W. et al., 1999; Klimesch W. et al., 2005]. Также имеется ряд работ, связывающих определенные параметры ЭЭГ с успешностью выполнения интеллектуальной деятельности [Hummel F., Gerloff C., 2005; Разумникова О.М., 2009; Rilka A. et al., 2011; Фарбер Д.А. с соавт., 2014 и др.].

При исследовании взаимосвязи частотно-пространственных параметров ЭЭГ с уровнем интеллекта и креативности было показано, что индивидуальная вариабельность в мыслительных способностях в большей степени отражается в особенностях когерентности, а не мощности потенциалов основных диапазонов ЭЭГ (Разумникова О.М., 2009). Показатели когерентности оказались более информативными, чем относительная или абсолютная спектральная мощность ЭЭГ, при классификации индивидов по группам с высоким или низким интеллектом (Thacher R.W., et al., 2005). Также по характеру когерентности можно косвенно оценить степень профессионализма испытуемых, по крайней мере в некоторых областях творческой деятельности [Свидерская Н.Е., 2011а].

В целом, несмотря на обилие экспериментального материала, результаты исследований ЭЭГ человека во время выполнения интеллектуальных задач во многом противоречивы и не позволяют однозначно сопоставить параметры биопотенциалов с конкретными психофизиологическими процессами. Далека от решения и проблема нахождения универсальных электрофизиологических показателей, которые были бы надежно связаны с успешностью выполнения широкого круга интеллектуальных задач.

В настоящее время одним из наиболее информативных методов исследования вегетативных функций человека, как в связи с оценкой и прогнозированием функционального состояния в различных условиях (Баевский

Р.М., 2006), так и при интеллектуальной деятельности (Данилова Н.Н., 2000; Riganello F. et al., 2010; Машин В.А., 2012), в том числе и с использованием компьютера (Yu X. et al., 2009; Андрианов В.В. с соавт., 2013), является анализ variability сердечного ритма (ВСР). Однако, как и в случае с показателями ЭЭГ, пока не существует единой точки зрения на то, какие именно характеристики ВСР являются наиболее адекватными коррелятами успешности осуществления интеллектуальной деятельности.

В исследовании, проведенном сотрудниками лаборатории нейрокибернетики НИИНФ им. П.К. Анохина и кафедры нормальной физиологии ПМГМУ им. И.М. Сеченова (Джебраилова Т.Д. с соавт., 2012; 2013) было показано, что одним из факторов, способствующих достижению высокого результата при выполнении учебных и элементарных сенсомоторных компьютерных тестов, является высокая лабильность вегетативных функций, проявляющаяся в изменении абсолютных значений и соотношения характеристик сердечного ритма и гемодинамики в соответствии с этапами и спецификой деятельности. Эти результаты позволяют предположить, что высокая лабильность физиологических функций, проявляющаяся как на периферическом, так и на центральном уровнях, может способствовать высокой эффективности и других видов интеллектуальной деятельности. При этом остается неизученным вопрос о том, насколько обнаруженные закономерности характерны для других, более сложных видов интеллектуальной деятельности. Неисследованным остается и вопрос об индивидуальных особенностях соотношения лабильности физиологических процессов, проявляющейся на периферическом (по вегетативным показателям) и центральном (по параметрам ЭЭГ) уровнях, в динамике интеллектуальной деятельности.

Цель исследования: выявить индивидуальные особенности кортико-висцеральной интеграции механизмов обеспечения интеллектуальной деятельности разной степени сложности, способствующие достижению высокого результата.

Задачи исследования:

1. Выявить индивидуальные особенности динамики спектрально-когерентных характеристик ЭЭГ, способствующие достижению высокого результата интеллектуальной деятельности разной степени сложности при работе на компьютере;

2. Выявить индивидуальные особенности динамики вегетативных показателей и их соотношения, способствующие достижению высокого

результата интеллектуальной деятельности разной степени сложности при работе на компьютере;

3. Выявить индивидуальные особенности соотношения динамики спектрально-когерентных характеристик основных ритмов ЭЭГ и вегетативных показателей (вариабельность сердечного ритма) при разной результативности интеллектуальной компьютеризированной деятельности студентов.

Научная новизна и практическая значимость работы.

Впервые установлено, что одним из факторов, способствующих высокой результативности интеллектуальной компьютеризированной деятельности разной степени сложности, является функциональная подвижность, проявляющаяся в динамике характеристик ВСР, а также структуры когерентных взаимосвязей потенциалов альфа- и бета-диапазонов ЭЭГ в соответствии со спецификой этапа деятельности.

Впервые выявлены взаимосвязанные изменения межполушарной когерентности потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ и показателей вариабельности сердечного ритма в динамике интеллектуальной деятельности, ассоциированные с достижением высокого результата при работе на компьютере.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты дают возможность прогнозирования индивидуальной успешности осуществления интеллектуальной компьютеризированной деятельности. Также показатель лабильности межцентральных отношений может быть использован в качестве одного из критериев профессионального отбора для операторов компьютеризированных систем.

Положения, выносимые на защиту.

Высокой эффективности интеллектуальной деятельности при работе на компьютере соответствует высокая лабильность структуры межцентральных отношений ЭЭГ, проявляющаяся в выраженных изменениях паттерна когерентных взаимосвязей потенциалов преимущественно альфа- и бета-диапазонов в соответствии со спецификой этапа деятельности.

Достижению высокого результата интеллектуальной деятельности, связанной с работой на компьютере, способствует высокая функциональная подвижность, проявляющаяся в изменении абсолютных значений и соотношения характеристик ВСР в соответствии с этапами и спецификой деятельности.

Выявлены взаимосвязанные изменения уровня и структуры межполушарной когерентности потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ и

характеристик ВСП в динамике интеллектуальной деятельности, соответствующие достижению высокого результата.

Апробация работы.

Материалы диссертации были доложены на 37-й, 38-й, 39-й и 40-й итоговых научных сессиях «Системная организация физиологических функций» ФГБНУ «НИИНФ им. П.К. Анохина» РАМН (М., 2012; 2013; 2014; 2015). Работа также была доложена на совместном заседании отдела системных механизмов поведения ФГБНУ «НИИНФ им. П.К. Анохина» и кафедры нормальной физиологии ГБОУ ВПО «Первый МГМУ имени И.М.Сеченова».

Публикации.

Материалы диссертации представлены в 11 публикациях, из них 8 в журналах из списка ВАК. Разработана программа для тестирования «Программа для определения некоторых характеристик зрительно-пространственной памяти» Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012615612. (2012 г).

Объем и структура диссертации.

Диссертационная работа изложена на 137 страницах печатного текста, включает 12 рисунков и 9 таблиц. Работа включает в себя следующие разделы: «Введение», «Обзор литературы», «Организация и методы исследования», три главы описания результатов, «Обсуждение», «Выводы», «Список литературы». Список литературы включает 204 источника, из них 80 отечественных и 124 зарубежных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в рамках плановых тем лаборатории нейрокибернетики, утвержденных ученым советом НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина и одобренных комиссией по этике. Все исследования проводились на основе добровольного информированного согласия испытуемых. Всего в исследовании приняли участие 106 человек. Все испытуемые — мужчины в возрасте 18-21 года, правши с нормальной остротой зрения.

Организация исследования.

В первой серии участвовали 46 испытуемых. Исследовали индивидуальные особенности электрофизиологических коррелятов процессов запоминания и воспроизведения зрительно-пространственной информации. Для данной исследовательской задачи был разработан программный комплекс *«Программа для определения некоторых характеристик зрительно-пространственной*

памяти» (тест «Запоминание последовательности»). В ходе проведения исследования у испытуемых регистрировали ЭЭГ в исходном состоянии после получения инструкции, при запоминании последовательности и при ее воспроизведении.

Во второй серии участвовали 29 студентов. У них исследовали индивидуальные особенности динамики вегетативных показателей. Использовался, как и в первой серии, тест «Запоминание последовательности», а также сенсомоторный тест (простая и сложная реакция различения). Во время деятельности у студентов регистрировали ЭКГ и пневмограмму. Регистрацию проводили в исходном состоянии, при запоминании и при воспроизведении последовательности в тесте «Запоминание последовательности», до и во время сенсомоторного теста.

В третьей серии у 31 студента исследовали индивидуальные особенности динамики центральных и вегетативных показателей при целенаправленной деятельности. Использовался модифицированный [Умрюхин Е.А. с соавт., 2004] тест «Установление закономерностей» Б.Л. Покровского [Столяренко Л.Д., 2000]. В компьютеризированном варианте теста испытуемому предлагалось сначала выполнить задание без ограничения времени, а затем — с ограничением времени. Во время исследования у испытуемых регистрировали ЭЭГ и ЭКГ. Регистрацию проводили в исходном состоянии, во время первого выполнения задания (без ограничения времени), в состоянии спокойного бодрствования перед вторым выполнением задания, во время второго выполнения задания (с ограничением времени), в состоянии спокойного бодрствования после окончания работы.

Методы исследования.

В тесте «Запоминание последовательности» испытуемому предлагалось предсказывать места появления шести отдельных сигналов, которые демонстрировались на экране компьютера в определенной последовательности. Задачей испытуемого было достижение максимально возможной точности предсказания мест и последовательности появления каждого из сигналов. После двукратной демонстрации последовательности сигналов для запоминания, испытуемый должен был воспроизвести ее 10 раз.

У испытуемых регистрировали ЭЭГ с помощью электроэнцефалографа MINGOGRAF EEG-21 (SIEMENS-ELEMA, Швеция) и компьютерной системы BRAINGAM монополярно по схеме “10-20” в затылочных (O2, O1), теменных (P4, P3), центральных (C4, C3), лобных (F4, F3) и височных (T4, T3) отведениях. Референтные электроды располагались на мочках ушей. Полоса фильтрации

составляла 0,5-45 Гц, постоянная времени — 0,3 с. Частота оцифровки составляла 200 Гц. Обработку ЭЭГ проводили с использованием программного комплекса BRAINGAM.

Сенсомоторный тест проводили с использованием компьютерного комплекса «Психотест» фирмы «Нейрософт» (Россия, 2009). При тестировании простой зрительно-моторной реакции испытуемый должен был максимально быстро нажать на кнопку в ответ на появление в центре панели красного светового сигнала в виде круга диаметром 8 мм (70 попыток). Тестирование сложной зрительно-моторной реакции осуществляли с помощью методики «реакция различения». Испытуемый должен был максимально быстро нажимать кнопку при появлении в центре панели сигнала красного цвета (предъявлялся 70 раз) и не реагировать на появление сигналов других цветов (зеленого и желтого), чередовавшихся в случайном порядке. Для дальнейшего анализа использовали среднее время реакции и число ошибок выбора цвета.

Во второй серии ЭКГ (в положении сидя, в I стандартном отведении) и пневмограмму (электрод в виде назальной канюли) регистрировали с использованием электрокардиографа «Полиспектр 8Е» и соответствующего программного обеспечения фирмы «Нейрософт» (Россия, 2008) на диск компьютера. Эпоха анализа составляла 3 минуты (при запоминании — 30 с). Оцифровка сигналов осуществлялась с частотой квантования 2000 Гц. Анализ ВСР проводили в соответствии с рекомендациями «Международного стандарта» [Malik M. et al., 1996; Михайлов В.М., 2002].

В третьей серии обследования использовался модифицированный и компьютеризированный вариант теста «Установление закономерностей» Б.Л. Покровского [Столяренко Л.Д., 2000]. После тренировки и усвоения инструкции испытуемый приступал к выполнению задания, состоящего из 18 строк, в левой части которых располагалась эталонная группа из шести букв, а в правой — пять цифровых групп, по шесть цифр в каждой. Задача испытуемого состояла в нахождении соответствия последовательности расположения цифр в цифровых группах и букв в эталонной буквенной группе. Использовались буквы латинского алфавита. Пример: TZTXBD - 232719 123127 838891 515923 323182 (Подчеркнуты группы цифр, которые соответствуют коду в эталонной буквенной группе). В каждой строке могло быть от 0 до 3 цифровых групп, соответствующих буквенному коду. После 3 минут работы первая часть теста завершалась. Во второй части испытуемому предлагалось аналогичное задание, но с условием получения максимального результата за ограниченный

промежуток времени в 3 минуты, при этом на экране демонстрировались часы, по которым испытуемый мог оценить прошедшее и оставшееся время работы.

ЭЭГ регистрировали с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-спектр» (г. Иваново) монополярно по схеме “10–20” в затылочных (O2, O1), теменных (P4, P3), центральных (C4, C3), лобных (F4, F3) и височных (T4, T3) отведениях. Объединенные референтные электроды располагались на мочках ушей. Полоса фильтрации составляла 0,5–35,0 Гц, постоянная времени — 0,32 сек., частота режекции 50 Гц. После регистрации все записи ЭЭГ были переведены в компьютерную систему анализа и топографического картирования электрической активности мозга «BRAINSYS» и обработаны с помощью аппаратно-программного комплекса «НЕЙРО-КМ» (ООО «Статокин», г. Москва).

Спектрально-когерентный анализ ЭЭГ проводили на основе быстрого преобразования Фурье (пакет программ BRAINSYS). Эпоха анализа составляла 4 сек с 50% наложением для спектрального анализа и без наложения для анализа когерентности, частота оцифровки — 200 Гц. Рассчитывали кросс спектры мощности (мкВ^2) тета (4-8 Гц), альфа (8-13 Гц), бета1 (13-20 Гц) и бета2 (20-30 Гц) ритмов ЭЭГ.

Параллельно с регистрацией ЭЭГ у студентов проводилась запись ЭКГ (в положении сидя, в I стандартном отведении) с использованием электрокардиографа «Полиспектр 8Е» и соответствующего программного обеспечения фирмы «Нейрософт» (Россия, 2008) на диск компьютера. Оцифровка сигналов осуществлялась с частотой квантования 2000 Гц. Обработку ЭКГ проводили на основе пакета программ «Поли-Спектр-Ритм» фирмы «Нейрософт».

Кроме этого, результаты выполнения тестов второй экспериментальной серии сопоставляли с оценкой, полученной студентами на экзамене по физиологии, проходившем через 1,5-2 месяца после тестирования.

Во всех трех сериях обследования для статистической обработки полученных данных и представления результатов использовали пакет STATISTICA v.6. При нормальном распределении анализируемых признаков вычисляли среднее значение (M) и стандартную ошибку среднего (m). При оценке характеристик спектрального анализа ВСР, имеющих распределение, отличное от нормального, использовали методы непараметрической статистики. Вычисляли медиану и интерквартильный интервал между 25% и 75% percentилями.

В первой серии обследования достоверность различий показателей у студентов выделенных групп оценивали с помощью дисперсионного анализа “Breakdown and one-way ANOVA”. Достоверность изменения значений показателей в разных ситуациях у одной группы испытуемых оценивали с использованием t-критерия для связанных выборок. Во второй и третьей сериях достоверность различий оценивали по критериям Манна-Уитни и Уилкоксона. Проводили корреляционный анализ по Спирмену [Реброва О.Ю., 2006].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе показателей 46 человек, которые участвовали в первой серии обследования, были выделены две крайние группы испытуемых, различающиеся по соотношению среднего времени принятия решения и числа точных предсказаний места появления очередного сигнала. Критерием включения испытуемых в группы служили значения $M \pm m \times t$, где M — среднее значение показателя; m — стандартная ошибка оценки; t — значение критерия Стьюдента при $p < 0.05$ для соответствующего объема выборки. В первую группу (быстрые и точные) вошли 10 человек, а во вторую (медленные и неточные) — 8 человек.

У лиц 1-й группы на этапе запоминания последовательности кружков, по сравнению с исходным состоянием, во всех частотных диапазонах наблюдалось увеличение, главным образом, межполушарных взаимосвязей (как между гомологичными, так и негомологичными областями), имевшее, однако, специфические особенности в каждом из диапазонов ЭЭГ.

В тета-диапазоне ЭЭГ у испытуемых 1-й группы повышение когерентности и наибольшее число высоких когерентных взаимосвязей отмечалось именно на этапе запоминания, а не воспроизведения последовательности, как в альфа- и бета-диапазонах. Эту особенность динамики когерентности можно понять, учитывая особую роль тета-системы в механизмах внимания и кратковременной памяти [Sauseng P., Hoppe J., Klimesch W. et al., 2007].

При воспроизведении последовательности сигналов, по сравнению с периодом ее запоминания и с исходным состоянием, у испытуемых 1-й группы наблюдалось дальнейшее повышение когерентности потенциалов альфа- и бета-диапазонов ЭЭГ (рис. 1) гомологичных и негомологичных областей коры правого и левого полушарий, свидетельствующее об усилении межполушарной функциональной интеграции. Усиление межполушарной когерентности в альфа- и бета-диапазонах ЭЭГ при одновременном повышении левосторонней внутриполушарной когерентности потенциалов бета2-диапазона может быть

интерпретировано как привлечение левополушарных вербально-аналитических механизмов мышления к выполнению зрительно-моторного задания.

При этом достоверное повышение наибольшего числа когерентных взаимосвязей было характерно для потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ. Высокий уровень межполушарных когерентных взаимосвязей и симметричных взаимосвязей внутри левого и правого полушарий потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ затылочных, центральных, теменных и лобных областей, вероятно, обусловлен влияниями на кору подкорковых активирующих систем, и в частности, неспецифической таламической системы [Русинов В.С. с соавт., 1987; Болдырева Г.Н. с соавт., 2003].

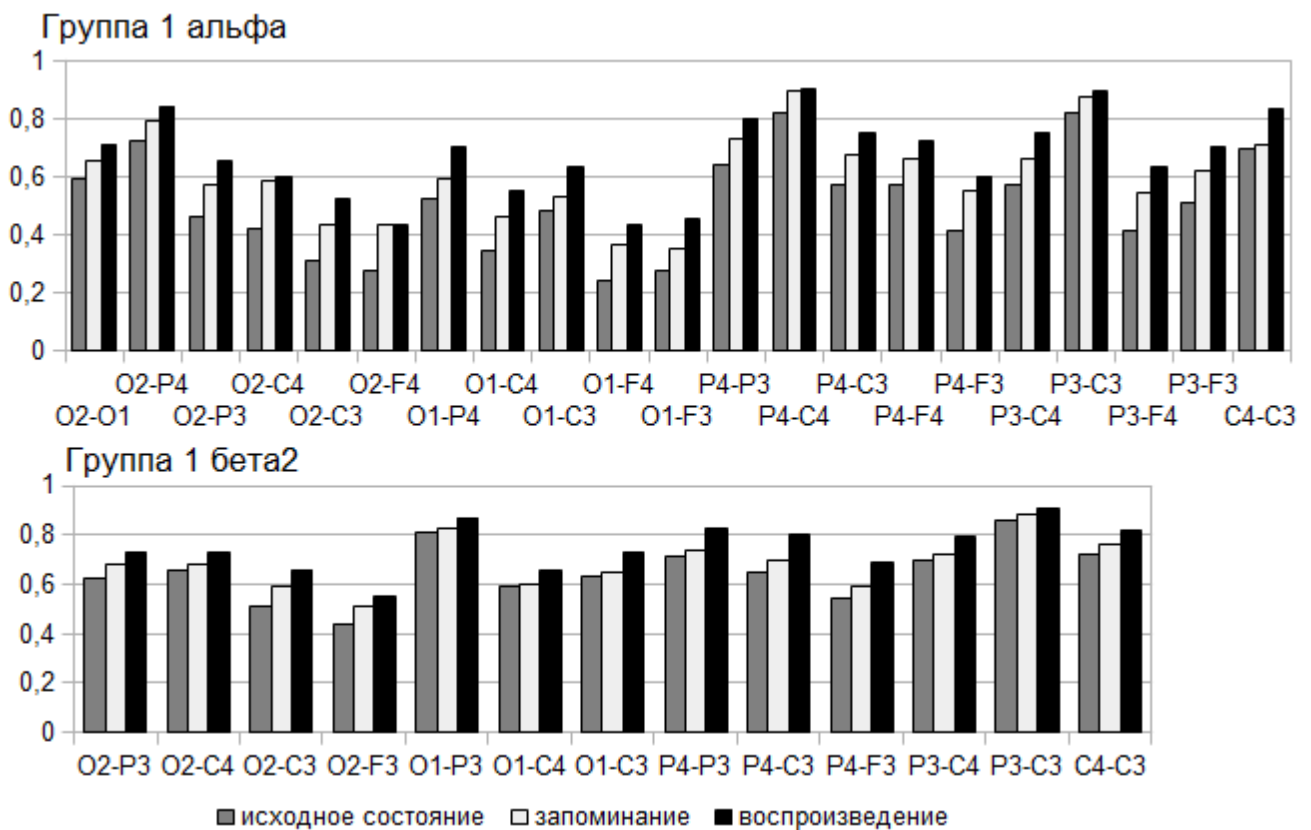


Рисунок 1. Достоверные изменения КК у испытуемых 1-й группы при воспроизведении последовательности относительно исходного состояния в альфа- и бета2-диапазонах.

В свою очередь высокая когерентность облегчает информационное взаимодействие между проекционными, ассоциативными и моторными областями коры, способствуя более быстрому принятию решения и выбору точной двигательной программы [Ливанов М.Н., 1989; Думенко В.Н., 2007].

В литературе приводятся сведения о повышении когерентности в бета2-диапазоне ЭЭГ при интеллектуальной деятельности [Кожедуб Р.Г. с соавт., 2006; Разумникова О.М., 2005; Volf N.V. et al., 2007]. Рост числа внутрислоушарных

связей бета2-диапазона при мысленном создании зрительных образов связывают с высоким уровнем пассивного внимания, а рост межполушарной когерентности — с мобилизационной готовностью к переработке информации обоими полушариями [Кожедуб Р.Г. с соавт., 2006].

У лиц 2-й группы достоверных изменений в альфа- и бета2-диапазонах было намного меньше (6 отведений в альфа-диапазоне и 1 в бета2-диапазоне). Кроме того, в отличие от результатов 1-й группы, в ряде отведений наблюдалось снижение КК при воспроизведении последовательности относительно исходного состояния.

У испытуемых 1-й группы, воспроизводивших последовательность сигналов быстро и с высокой точностью, число высоких когерентных взаимосвязей при переходе от исходного состояния к запоминанию и воспроизведению увеличивалось (рис. 2), а их структура, соответственно, изменялась. В максимальной степени эти изменения проявлялись в диапазонах альфа- и бета2-ритмов. При этом суммарное количество высоких когерентных взаимосвязей в диапазонах тета-, альфа- и бета-ритмов последовательно увеличивалось при переходе от этапа к этапу деятельности (исходное состояние - 34, запоминание - 52, воспроизведение - 66).

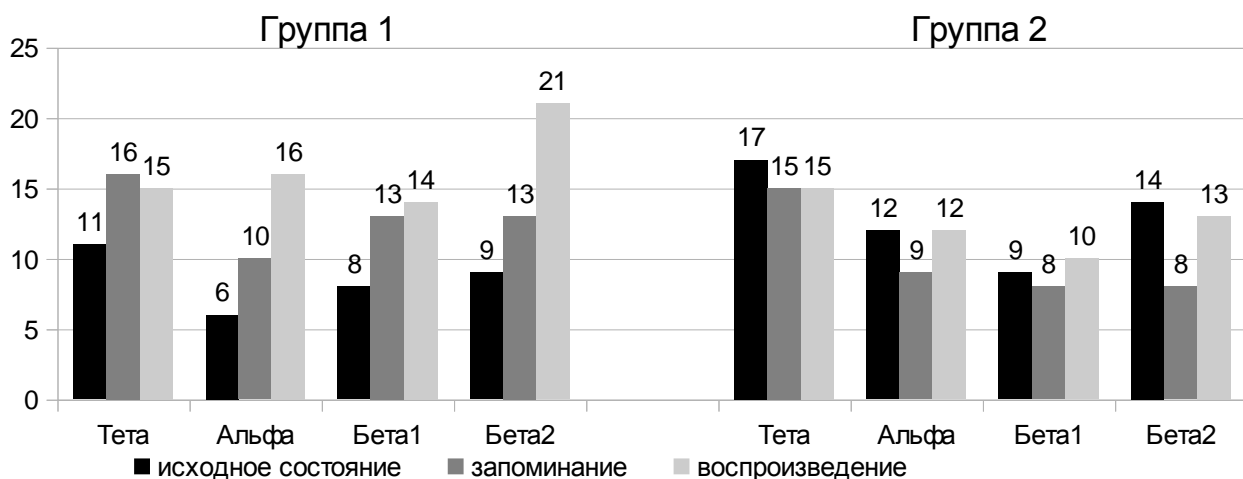


Рисунок 2. Количество высоких (КК>0,7) когерентных связей в тета-, альфа-, бета1-, бета2-ритмах у 1-ой и 2-ой групп в исходном состоянии, при запоминании и при воспроизведении последовательности.

У испытуемых 2-й группы, воспроизводивших последовательность медленно и с ошибками, число и структура высоких когерентных взаимосвязей потенциалов в тета- и бета1-диапазонах при переходе от этапа к этапу практически не изменялись. В альфа- и бета2-диапазонах на этапе запоминания отмечалось некоторое уменьшение числа высоких когерентных связей, однако

при воспроизведении их число и структура практически не отличались от наблюдавшихся в исходном состоянии.

В целом результаты проведенного исследования позволяют сделать вывод о том, что быстрому и точному достижению результата интеллектуальной деятельности способствует лабильность межцентральных отношений, проявляющаяся в подвижности структуры когерентных взаимосвязей потенциалов основных частотных диапазонов ЭЭГ в соответствии со спецификой этапа деятельности и функциональной значимостью ритмов.

Это положение до определенной степени может быть соотнесено с представлениями о большей гибкости процессов активации мозга в соответствии с характером и условиями интеллектуальной деятельности у индивидов с высокой креативностью [Martindale С., 1999].

Вегетативные корреляты индивидуальных различий временных параметров и результативности интеллектуальной деятельности человека

Во второй серии обследования для выявления индивидуальных особенностей соотношения эффективности выполнения теста «Запоминание последовательности» и сенсомоторного теста испытуемые были разбиты на две группы. В 1-ю группу (11 человек) вошли студенты с высокой точностью воспроизведения последовательности (число точных предсказаний = 49.3 ± 1.2) и значениями времени реакции в среднем диапазоне или менее среднего (простая реакция 196.6 ± 3.3 мс, сложная реакция 296.9 ± 6.7 мс). Во 2-ю группу (9 человек) вошли студенты с низкой точностью воспроизведения последовательности (29.3 ± 2.5 ; $p(1-2 \text{ гр.}) < 0.001$) и временем простой реакции больше среднего или соответствующим среднему диапазону значений (простая реакция 217.3 ± 4.4 мс; $p(1-2 \text{ гр.}) = 0.003$; сложная реакция 332.1 ± 12.5 мс; $p(1-2 \text{ гр.}) = 0.046$).

Точность воспроизведения последовательности коррелировала с увеличением ЧД (Δ ЧД) при выполнении теста по сравнению с исходным состоянием ($r = 0.459$; $p = 0.012$). Количество ошибок сложной реакции отрицательно коррелировало с CV во время тестирования ($r = -0.405$; $p = 0.029$).

В исходном состоянии у студентов 1-й группы наблюдались достоверно более высокие значения CV, общей мощности (TP), мощности в VLF, LF и HF диапазонах спектра ВСР при соотношении LF/HF, близком к единице (табл. 1).

Сопоставление значений характеристик ВСР, полученных в нашем исследовании, со средними величинами этих параметров, имеющимися в литературе [Malik M. et al., 1996; Михайлов В.М., 2002], показало, что у студентов 1-й группы были выше, а у студентов 2-й группы — ниже должных

значения CV, TP, мощности в VLF, LF и HF диапазонах спектра ВСР. Из литературы следует, что наличие хорошо выраженных волн сердечного ритма во всех трех диапазонах частот и, соответственно, высокая общая мощность спектра характерны для здоровых лиц молодого возраста, а низкий фоновый уровень TP рассматривается как свидетельство снижения адаптационных возможностей организма человека [Михайлов В.М., 2002], что, вероятно, и наблюдается у студентов 2-й группы.

Таблица 1.

Исходные значения показателей variability сердечного ритма у студентов выделенных групп (медиана и интерквартильный размах в виде 25% и 75% перцентилей)

Показатель	1-я группа	2-я группа	<i>P</i> (1-2)
CV (%)	9.38 (8.23; 11.34)	5.55 (4.56;7.38)	0.017
TP(мс ²)	7002 (4946; 10330)	2260 (1304; 4894)	0.021
VLF(мс ²)	2174 (1480; 2782)	738 (432; 1749)	0.014
LF(мс ²)	2347 (890; 4642)	824 (579; 2174)	0.049
HF(мс ²)	2486 (1418; 3021)	799 (296; 941)	0.006
LF/HF	1.31 (0.63; 1.61)	2.16 (1.38; 2.34)	0.017

Проведенное обследование выявило корреляционную взаимосвязь параметров результатов разных по уровню сложности видов интеллектуальной деятельности (простая и сложная сенсомоторная реакция, запоминание и воспроизведение динамичной зрительной информации на компьютере и учебная деятельность). Более высокую оценку на экзамене получили студенты 1-й группы (1-я группа 4.40±0.18 балла; 2-я группа 3.33±0.29 балла; *p*=0.010), демонстрировавшие во время тестирования меньшее время простой и сложной сенсомоторных реакций и большую точность воспроизведения последовательности сигналов.

При воспроизведении последовательности сигналов (Т1) (рис. 3) у испытуемых 1-й группы наблюдалось достоверное уменьшение длительности R-R-интервалов ЭКГ (*p*=0.002), мощности в HF (*p*=0.041) и LF (*p*=0.028) диапазонах и общей мощности (*p*=0.027) (рис. 4) спектра ВСР при одновременном увеличении ЧД (*p*=0.0015). После воспроизведения (Ф2) длительность R-R-интервалов ЭКГ и общая мощность спектра возрастали, а ЧД — снижалась. Во время сенсомоторного теста (Т2) длительность R-R-интервалов ЭКГ достоверно уменьшалась (*p*=0.015), а ЧД — увеличивалась (*p*=0.012), значение CV было достоверно (*p*=0.028) выше, чем при воспроизведении последовательности.

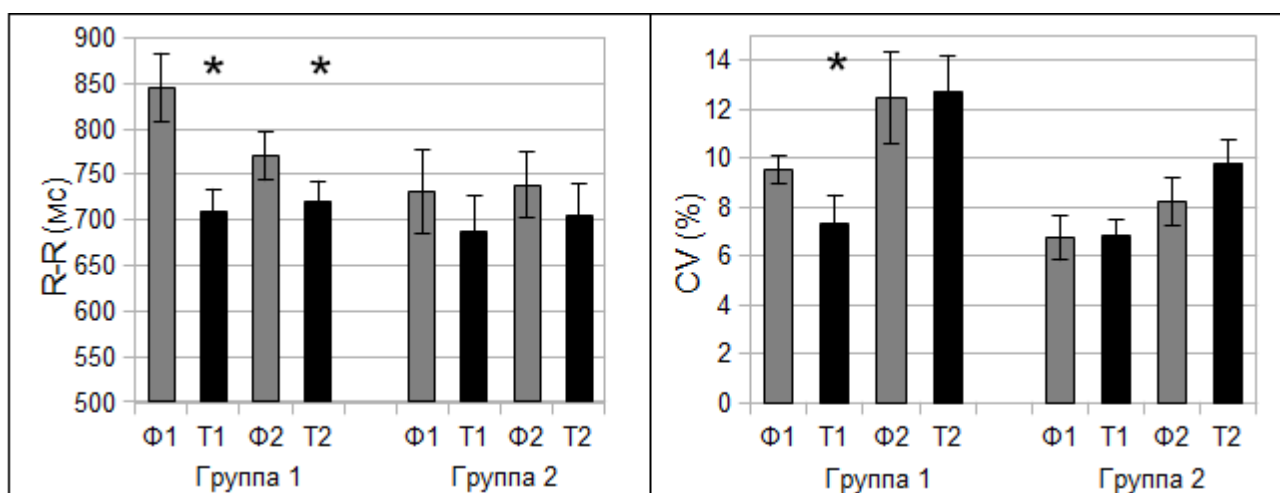


Рисунок 3. Длительность R-R-интервалов ЭКГ (R-R, мс), коэффициент вариации (CV,%) на этапах деятельности у студентов выделенных групп ($M \pm m$). Φ1 — исходное состояние; T1 — воспроизведение последовательности; Φ2 — перед сенсомоторным тестом; T2 — сенсомоторный тест; * — достоверные изменения.

У лиц 2-й группы изменения характеристик сердечного ритма на этапах деятельности не достигали достоверного уровня (рис. 3). При выполнении обоих тестов наблюдалось увеличение ЧД ($p=0.012$ и $p=0.015$), однако величина прироста (Δ ЧД) была достоверно меньшей, чем у студентов 1-й группы. При воспроизведении последовательности Δ ЧД составляла 7.6 ± 1.4 и 3.2 ± 1.2 дыхательных движений в минуту у студентов 1-й и 2-й групп соответственно ($p=0.031$).

Рост стандартного отклонения R-R-интервалов интерпретируется как компонент ориентировочного рефлекса в составе когнитивной деятельности [Данилова Н.Н., Астафьев С.В., 1999], к проявлениям которого относят также уменьшение ЧСС. Однако в нашем исследовании более высокие значения CV сочетались у студентов 1-й группы не с увеличением, а с уменьшением длительности R-R-интервалов ЭКГ. Можно предполагать, что характерные для студентов с меньшим временем сенсомоторных реакций высокие значения CV во время тестирования свидетельствуют о большей выраженности ориентировочного компонента в составе интеллектуальной деятельности на фоне мобилизации функциональных резервов, проявляющейся в увеличении ЧД и уменьшении длительности R-R-интервалов ЭКГ.

У испытуемых 1-й группы также было отмечено достоверное изменение показателей общей мощности (TP), высокочастотного (HF) и низкочастотного (LF) компонентов спектра ВСР, выраженное при выполнении теста «Запоминание последовательности» (рис. 4).

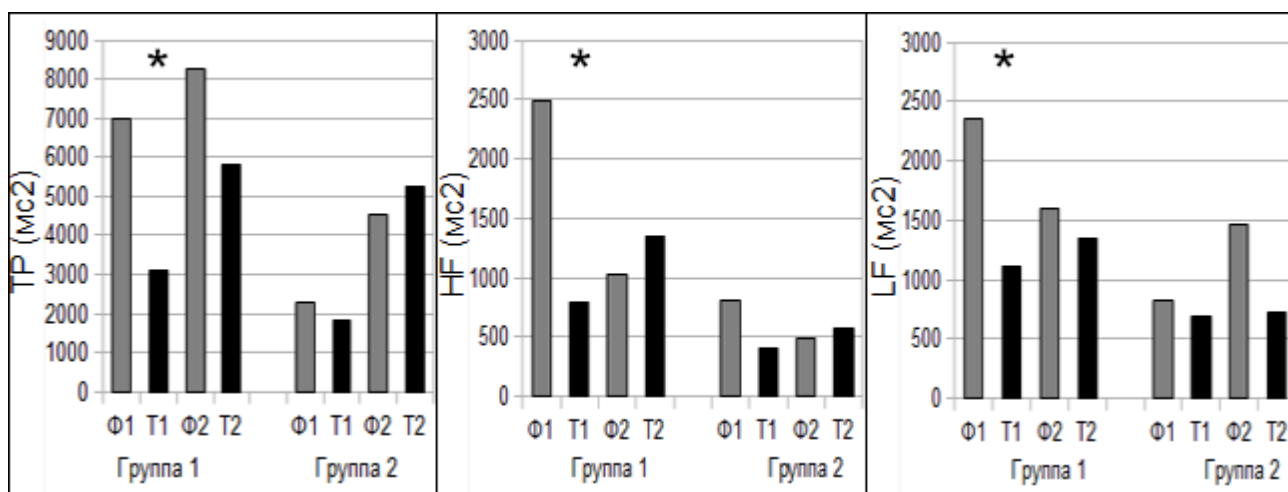


Рисунок 4. Общая мощность (TP, мс²), мощность в HF и LF (мс²) диапазонах спектра ВСР на этапах деятельности у студентов выделенных групп.

Φ1 — исходное состояние; T1 — воспроизведение последовательности; Φ2 — перед сенсомоторным тестом; T2 — сенсомоторный тест; * — достоверные изменения.

Такое уменьшение исходно высокой общей мощности спектра может рассматриваться как свидетельство временной мобилизации функциональных резервов организма [Баевский Р.М., 2006].

В настоящее время не вызывает сомнения, что высокочастотные колебания ВСР связаны с фазами дыхания. И хотя механизмы окончательно не выяснены, можно считать установленным тот факт, что эфферентным звеном, обеспечивающим такую взаимосвязь, являются блуждающие нервы. Отсюда следует, что спектральную мощность в HF диапазоне можно рассматривать как показатель парасимпатических влияний на сердечную деятельность [Михайлов В.М., 2002; Котельников С.А. с соавт., 2002]. Исходя из этих представлений, достоверно большая мощность в HF диапазоне спектра variability свидетельствует о более высоком фоновом уровне парасимпатических тонических влияний на сердечную деятельность у студентов 1-й группы.

Разногласия в литературе имеются и относительно генеза симпатической активности, которая обуславливает формирование волн сердечного ритма в низкочастотном диапазоне (LF). Однако для практического применения важным является тот факт, что низкочастотные LF-колебания напрямую связаны с активностью постганглионарных симпатических волокон и по их спектральной мощности можно судить о симпатических влияниях на сердце [Михайлов В.М., 2002; Котельников С.А. с соавт., 2002]. Таким образом, у студентов 1-й группы наблюдался более высокий чем у лиц 2-й группы исходный уровень тонических симпатических влияний на сердечную деятельность.

Студенты 1-й группы отличались также меньшими, чем индивиды 2-й группы, значениями соотношения LF/HF, которое используют для оценки баланса между симпатическими и парасимпатическими отделами вегетативной нервной системы [Malik M. et al., 1996; Михайлов В.М., 2002; Котельников С.А. с соавт., 2002; Баевский Р.М., 2006; Montano N. et al., 1994]. Значения соотношения LF/HF, близкие к единице, свидетельствуют об относительном балансе тонических симпатических и парасимпатических влияний на сердечную деятельность у студентов 1-й группы. У испытуемых 2-й группы высокие значения коэффициента LF/HF отражают преобладание тонических симпатических влияний на сердечную деятельность.

В целом результаты проведенного обследования показали, что у студентов с высокой скоростью и точностью выполнения интеллектуальных зрительно-моторных заданий разной степени сложности наблюдались изменения характеристик сердечного ритма и дыхания, приуроченные к этапам и специфические по отношению к характеру деятельности. Можно предположить, что такой характер динамики показателей, отражающий высокую лабильность вегетативных функций во время деятельности, способствует более полной реализации потенциальных интеллектуальных возможностей студентов, что, вероятно, и проявляется в лучших результатах учебной деятельности.

Взаимосвязь динамики параметров альфа-активности ЭЭГ и variability сердечного ритма при интеллектуальной деятельности

Целью 3-й серии обследования было выявление индивидуальных особенностей соотношения лабильности спектрально-когерентных характеристик потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ и показателей variability сердечного ритма при разной результативности интеллектуальной компьютеризированной деятельности студентов.

Значения коэффициента успешности (КУ) выполнения обоих вариантов теста «Установление закономерностей» (без ограничения по времени — Т1 и с ограничением — Т2) индивидуально варьировали от 13.6 до 67.0 баллов, при этом достоверно ($p < 0.001$) более высокие результаты были продемонстрированы испытуемыми при выполнении задания в условиях ограничения времени (27.9 ± 1.3 в Т1 и 39.9 ± 1.6 в Т2). Были выделены группы студентов, достигавшие высокого (1-я группа, 10 человек; $KY > M + m$) или низкого (2-я группа, 12 человек; $KY < M - m$) результата в обоих тестах.

В исходном состоянии у студентов 1-й группы наблюдались достоверно большие, чем у испытуемых 2-й группы, значения длительности R-R-интервалов

ЭКГ и доли (%) HF компонента ($p=0.034$) спектра ВСП при достоверно ($p=0.011$) меньшем (близком к единице) соотношении LF/HF.

Длительность R-R-интервалов ЭКГ и мощность HF компонента спектра ВСП у студентов обеих групп уменьшалась во время тестов (Т1 и Т2) по отношению к предшествующему периоду (Ф1 и Ф2 соответственно) и увеличивалась после их выполнения (Ф2 и Ф3 соответственно). Перед выполнением второго теста (Ф2) и после его завершения (Ф3) длительность R-R-интервалов была достоверно большей у студентов 1-й группы (Ф2 и Ф3 $p(1-2 гр.)=0,034$).

Общая мощность (TP) спектра ВСП (рис. 5А) у студентов 1-й группы уменьшалась при выполнении Т1 и достоверно ($p=0.036$) увеличивалась после его завершения. Во время Т2 отмечалось достоверное ($p=0.009$) уменьшение общей мощности с последующим увеличением ($p=0.005$) после завершения тестирования (Ф3). У студентов 2-й группы достоверное изменение общей мощности по сравнению с предшествующим этапом наблюдалось только во время Т2 ($p=0.005$).

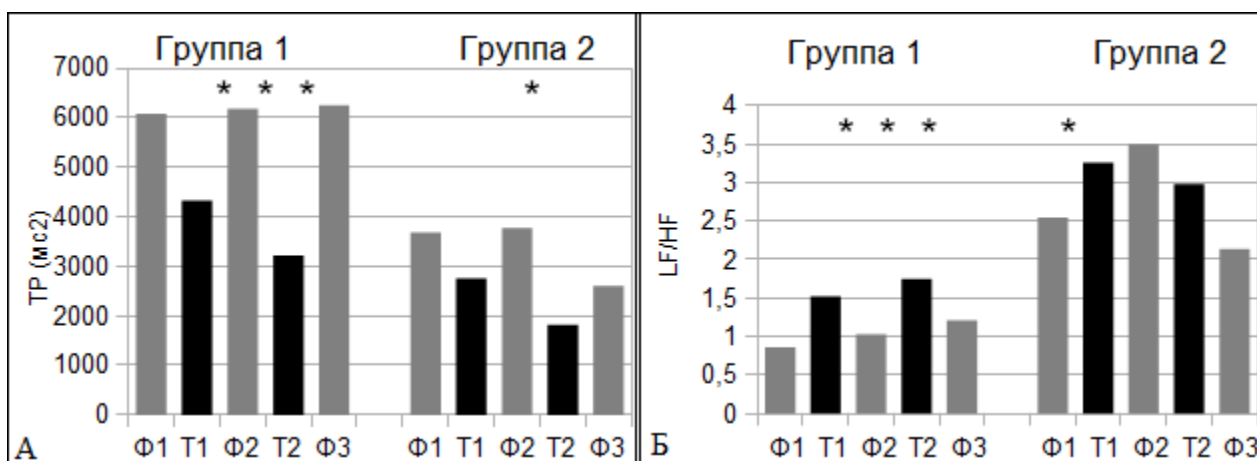


Рисунок 5. А) Общая мощность (TP, $мс^2$) спектра ВСП. Б) соотношение LF/HF (отн. ед.) у студентов выделенных групп на этапах деятельности (медиана). Ф1 — исходное состояние; Т1 — выполнение без ограничения по времени; Ф2 — перед выполнением теста 2; Т2 — выполнение теста с ограничением по времени; Ф3 — после завершения тестирования; * — достоверные изменения.

Также у испытуемых, достигавших лучших результатов, наблюдалось достоверное изменение соотношения LF/HF компонентов спектра ВСП, при возвращении значений этих показателей к исходному уровню после выполнения и первого, и второго тестов. У лиц 2-й группы значения отношения LF/HF превышали единицу на всех этапах обследования, что говорит о преобладании симпатических влияний на сердце над вагусными (рис. 5Б).

Таким образом, у студентов, успешно выполнявших тесты, наблюдалась большая, чем у студентов с низкой результативностью, лабильность характеристик сердечного ритма на этапах деятельности, что в целом соответствует результатам, полученным во 2-й серии исследований.

У студентов, достигавших высоких результатов при выполнении тестов, наблюдалось достоверное уменьшение мощности альфа-ритма при выполнении тестов Т1 и Т2 по сравнению с Ф1 и Ф2 соответственно. Во время выполнения Т1 — в отведениях О2, Р4, Р3, С3, Т4, а при выполнении Т2 — во всех отведениях, кроме F4. У лиц 2-й группы при выполнении Т1 достоверного уменьшения мощности альфа-ритма по сравнению с Ф1 не отмечалось, а при Т2 имело место уменьшение мощности (относительно Ф2) только в отведениях Р4, Р3, С3 и F3.

Также при выполнении тестов у испытуемых 1-й группы наблюдалось достоверное уменьшение, межполушарной (рис. 6) и внутрислошарной (в системах взаимосвязей, включающих затылочные, теменные и височные области каждого полушария) когерентности потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ.

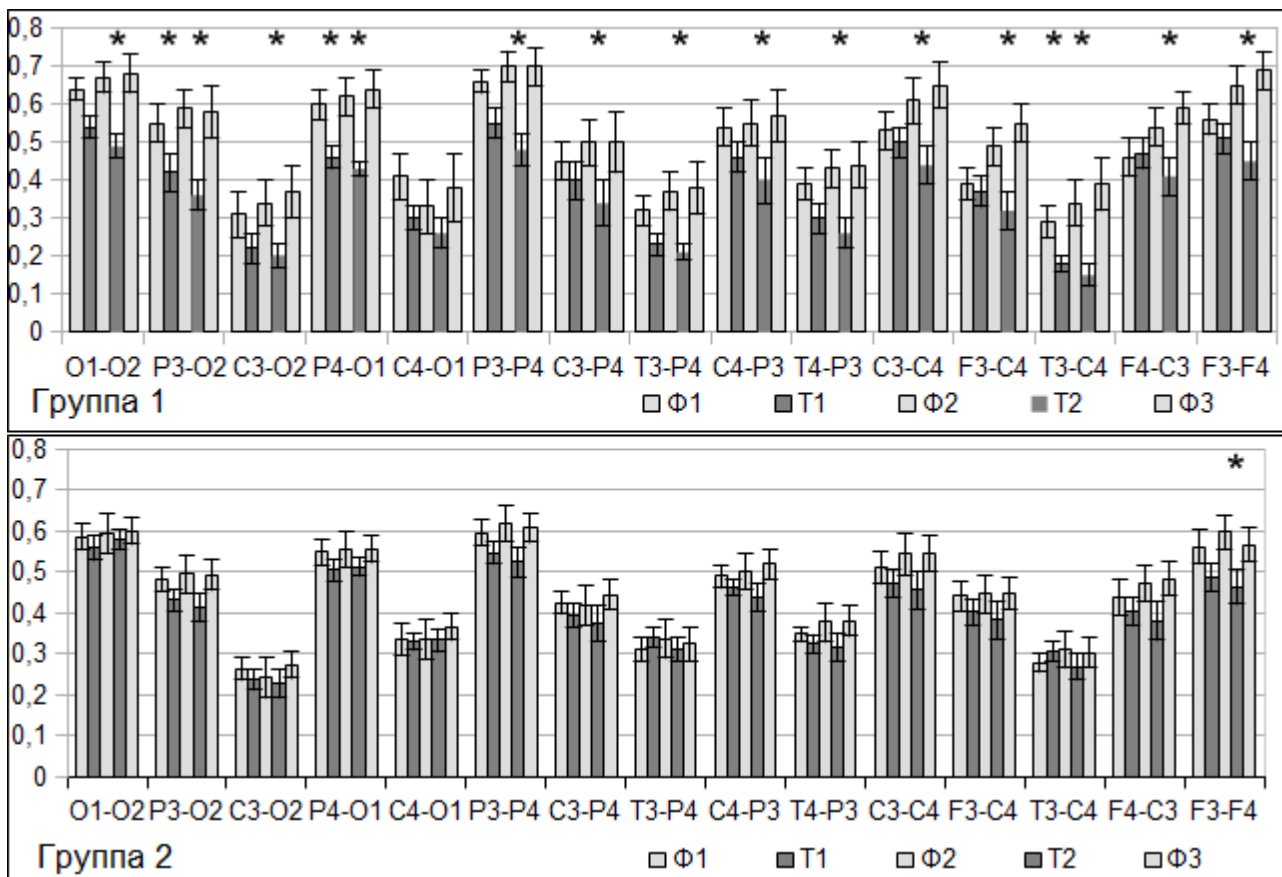


Рисунок 6. Межполушарная когерентность потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ у испытуемых выделенных групп на этапах деятельности ($M \pm m$). Ф1 — исходное состояние; Т1 — выполнение без ограничения по времени; Ф2 — перед выполнением теста 2; Т2 — выполнение теста с ограничением по времени; Ф3 — после завершения тестирования; * — достоверные изменения.

У лиц 2-й группы достоверное снижение межполушарной когерентности было отмечено только в одном отведении (F4-F3) (рис. 6).

Одновременное диффузное уменьшение мощности и когерентности потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ именно на этапах выполнения теста может рассматриваться как проявление неспецифической активации коры, связанное с усилением таламо-кортикальных влияний [Разумникова О.М., 2005]. Также у студентов 1-й группы наблюдалась более выраженная реакция десинхронизации альфа-ритма при переходе от состояния спокойного бодрствования с закрытыми глазами к исходному состоянию с открытыми глазами.

Для испытуемых, демонстрировавших более высокие результаты выполнения тестов, было характерно изменение числа и структуры высоких когерентных взаимосвязей потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ в соответствии с этапами деятельности (рис. 7). Напротив, у испытуемых, не достигавших высоких результатов, отмечалась инертность структуры когерентных взаимосвязей.

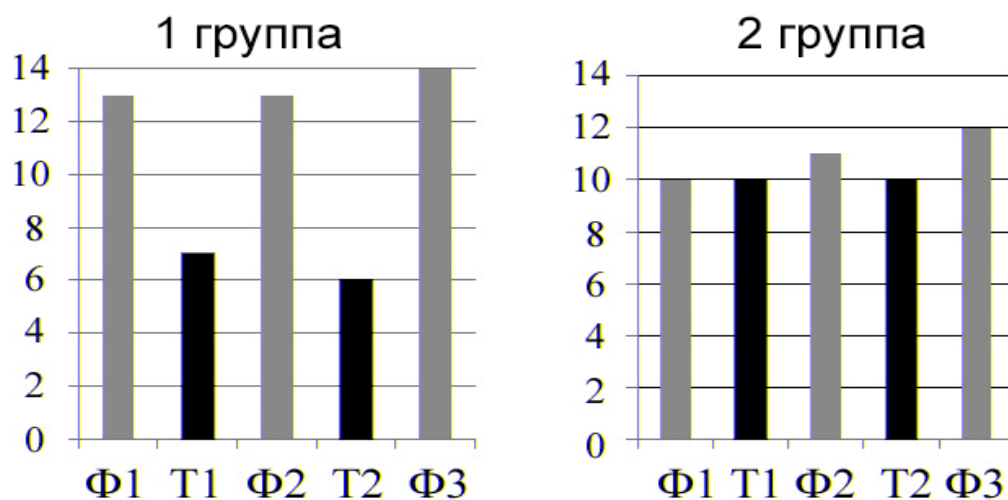


Рисунок 7. Количество высоких ($KK > 0,6$) когерентных связей в диапазоне альфа-ритма у испытуемых 1-й и 2-й групп. Ф1 — исходное состояние; T1 — выполнение без ограничения по времени; Ф2 — перед выполнением теста с ограничением по времени; T2 — выполнение теста с ограничением по времени; Ф3 — после завершения тестирования.

Был обнаружен ряд корреляционных взаимосвязей характеристик сердечного ритма и когерентности потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ. Выделяются три, частично перекрывающиеся, системы когерентных взаимосвязей потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ, уровень когерентности которых коррелировал с характеристиками сердечного ритма. Это комплекс правосторонних внутриполушарных взаимосвязей, система внутри и межполушарных связей с фокусом в левом височном отведении (T3) и, наконец,

комплекс межполушарных взаимосвязей с фокусом в левом и правом затылочных отведениях. На всех этапах деятельности с когерентностью потенциалов альфа-диапазона отрицательно коррелировали значения CV и TP. Также на этапах Ф1, Т1 и Т2 с когерентностью отрицательно коррелировали значения LF и HF. Значения соотношения LF/HF положительно коррелировали с когерентностью, главным образом, правосторонних внутрислошарных взаимосвязей потенциалов альфа-диапазона.

Проведенное обследование показало, что у студентов, демонстрировавших лучшие результаты тестирования, в отличие от испытуемых, не достигавших высоких результатов, в динамике деятельности наблюдалась достоверно большая лабильность физиологических процессов, проявлявшаяся как на центральном, так и на периферическом уровнях. Обращал на себя внимание тот факт, что динамика RRNN, общей мощности, мощности HF и соотношения мощности LF/HF компонентов спектра BCP на этапах деятельности у студентов, достигающих высокого результата, практически полностью совпадала с динамикой межполушарной когерентности потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ.

ВЫВОДЫ

1. У испытуемых, воспроизводивших последовательность сигналов быстро и с высокой точностью, число высоких когерентных взаимосвязей при переходе от исходного состояния к запоминанию и воспроизведению увеличивалось, а их структура, соответственно, изменялась. В максимальной степени эти изменения проявлялись в диапазонах альфа- и бета2-ритмов. При этом суммарное количество высоких когерентных взаимосвязей в диапазонах тета-, альфа- и бета-ритмов последовательно увеличивалось при переходе от этапа к этапу деятельности (исходное состояние, запоминание, воспроизведение).

2. У испытуемых, воспроизводивших последовательность медленно и с ошибками, число и структура высоких когерентных взаимосвязей потенциалов в тета- и бета1-диапазонах при переходе от этапа к этапу практически не изменялись. В альфа- и бета2-диапазонах на этапе запоминания отмечалось некоторое уменьшение числа высоких когерентных связей, однако при воспроизведении их число и структура практически не отличались от наблюдавшихся в исходном состоянии.

3. У студентов с высокой скоростью и точностью выполнения интеллектуальных зрительно-моторных заданий разной степени сложности наблюдалась высокая лабильность вегетативных показателей, проявляющаяся в изменениях характеристик сердечного ритма и дыхания, приуроченных к этапам

и специфических по отношению к характеру деятельности. В исходном состоянии эти студенты отличались большими значениями общей мощности, мощности VLF, LF и HF диапазонов спектра ВСР, при соотношении LF/HF, близком к единице.

4. У испытуемых, демонстрировавших лучшие результаты при выполнении компьютерных тестов, требующих логического мышления, наблюдались более выраженные, чем у испытуемых, не достигавших высоких результатов, взаимосвязанные изменения характеристик variability сердечного ритма, мощности и когерентности потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ при переходе от этапа к этапу деятельности. Причем эти изменения носили фазический характер и в наибольшей степени проявлялись при выполнении теста в условиях ограничения времени, когда испытуемые достигали максимальных результатов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

RRNN — средняя длительность нормальных R-R интервалов (с исключением экстрасистол); **SDNN** — стандартное отклонение всех нормальных R-R интервалов; **CV** — коэффициент вариации длительности R-R- интервалов; **TP** (mc^2) — общая мощность спектра (0.003–0.40 Гц); **HF** (mc^2) — спектральная мощность в высокочастотном диапазоне (0.15–0.40 Гц); **LF** (mc^2) — спектральная мощность в низкочастотном диапазоне (0.04–0.15 Гц); **VLF** (mc^2) — спектральная мощность в очень низкочастотном диапазоне (0.003–0.04 Гц); **LF/HF** (отн. ед.) — соотношение нормализованной мощности; **ВСР** — variability сердечного ритма; **КК** — коэффициент когерентности; **КУ** — коэффициент успешности; **ЧСС** — частота сердечных сокращений; **ЧД** — частота дыхания; **ЭКГ** — электрокардиограмма; **ЭЭГ** — электроэнцефалограмма;

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Умрюхин Е.А., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А. Индивидуальные особенности предсказания результата в системоквантах сенсомоторной деятельности человека // **Вестник новых медицинских технологий**. 2007. Т. 14. № 2. С. 158-161.
2. Умрюхин Е.А., Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А. Физиологические корреляты индивидуальных различий времени принятия решения при целенаправленной интеллектуальной деятельности человека // **Физиология человека**. 2008. Т. 34. № 5. С. 44-50.

3. Умрюхин Е.А., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А. Успешность выполнения тестовых заданий студентами с различными спектральными характеристиками альфа-ритма фоновой ЭЭГ // **Физиология человека**. 2009. Т. 35. № 5. С. 33-39.
4. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А., Умрюхин Е.А. Пространственная организация биопотенциалов коры головного мозга и время принятия решения при целенаправленной деятельности человека. **Журнал высшей нервной деятельности им. И.П.Павлова**. 2011. Т. 61. № 2. С. 1-11.
5. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А. Пространственная организация биопотенциалов альфа диапазона ЭЭГ и индивидуальные особенности соотношения результативности и временных параметров интеллектуальной деятельности человека // Тр. научного совета по экспериментальной и прикладной физиологии. Системная саморегуляция функций организма / Под ред. К.В.Судакова. М.:РАМН, 2011. Т. 16. С. 112-121.
6. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Дудник Е.Н., Каратыгин Н.А. Вегетативные корреляты индивидуальных различий временных параметров и результативность интеллектуальной деятельности человека // **Физиология человека**. 2013. Т. 39. № 1. С. 94–102.
7. Судаков К.В., Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А. Геометрические образы когерентных взаимоотношений биопотенциалов различных частотных диапазонов ЭЭГ в динамике целенаправленной деятельности человека // **Российский физиологический журнал**. 2013. Т. 99. Вып. 6. С. 706-718.
8. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А. Когерентность потенциалов β_1 диапазона ЭЭГ и эффективность интеллектуальной деятельности человека // **Вестник новых медицинских технологий**. 2013. № 3. С. 71-74.
9. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Каратыгин Н.А. Лабильность структуры когерентных взаимосвязей биопотенциалов в диапазонах основных ритмов ЭЭГ и эффективность интеллектуальной деятельности человека // Академический журнал Западной Сибири. 2014. Т. 10. № 3 (52). С. 58-60.
10. Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И., Дудник Е.Н., Каратыгин Н.А. Пространственная организация потенциалов альфа-диапазона ЭЭГ и эффективность логического мышления // **Бюллетень экспериментальной биологии и медицины**. 2015. Т. 159. № 2. С. 140-143.
11. Sudakov K.V., Dzhebrailova T.D., Korobeinikova I.I., Karatygin N.A. Geometrical patterns of coherence interaction of biopotentials in different EEG frequency ranges

during goal-directed behavior in humans // Neuroscience and Behavioral Physiology. 2015. Vol. 45. N 4.P. 423-430.

12.Каратыгин Н.А. «Программа для определения некоторых характеристик зрительно-пространственной памяти» Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012615612. (2012 г)