

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НИЖЕГОРОДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО»

На правах рукописи



РАДЧЕНКО ГРИГОРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

ОСОБЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЭГ И ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ПРИ
ВОЗДЕЙСТВИИ МУЗЫКАЛЬНЫХ ФРАГМЕНТОВ С РАЗНОЙ ТОНАЛЬНОЙ
МОДУЛЯЦИЕЙ

03.03.01 - физиология

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Научный руководитель:

д.б.н. А.И.Федотчев

Научный консультант:

д.б.н., доц., С.Б. Парин

Оглавление

Введение.....	2
Глава 1. Обзор литературы.....	10
1.1. Эффекты прослушивания музыки.....	10
1.2. Эффекты, связанные с исполнением музыки.....	22
1.3. Использование музыки в процедурах биологической обратной связи	26
1.4. Предпосылки к исследованию влияния тональной модуляции на функциональное состояние организма и характеристика тональной модуляции в теории музыки	30
Глава 2. Материалы и методы исследования	35
2.1. Методы исследования:	35
2.2. Участники эксперимента.....	35
2.3. Стимульный материал	36
2.4. Процедура экспериментальных серий	42
2.5. Параметры записи ЭЭГ и ЭКГ в экспериментальных сериях.....	44
2.6. Пост-обработка ЭЭГ и ЭКГ:	45
2.6. Статистическая обработка полученных данных	48
Глава 3. Результаты собственных исследований и их обсуждение.....	49
3.1. Исследование влияния исходных параметров вегетативной регуляции на результат прослушивания музыкальных произведений (результаты и обсуждение 1 экспериментальной серии).....	49
3.2. Исследование влияния ладового условия и расстояния тональной модуляции на спектральные показатели ЭЭГ (результаты и обсуждение 2 экспериментальной серии)	56
3.3. Исследование влияния тональной модуляции на спектральные показатели ЭЭГ при прослушивании гармонических последовательностей и фрагментов классических музыкальных произведений (результаты и обсуждение 3 экспериментальной серии)	67
3.4. Исследование возможных нейрофизиологических механизмов обработки расстояния тональной модуляции с применением техники регистрации событийно-связанных потенциалов (ССП) (результаты и обсуждение 4 экспериментальной серии)	75
Заключение	84
Выводы.....	91
Литература	93
Приложение	112

Введение

Музыка и музыкоподобные сигналы все активнее используются в программах развития и реабилитации когнитивных функций человека (Федотчев, Радченко, 2013). В связи с этим, исследование влияния таких сигналов и их составляющих на человека позволит более точно подбирать музыкальные композиции и является актуальным. Эти исследования можно условно разделить на несколько направлений.

Первое направление связано с изучением особенностей восприятия музыки, связанных с акустикой отдельных звуков и тонов. К нему можно отнести изучение особенностей восприятия музыкальных тонов, начало которому положил Г. Фехнер в своей работе «Элементы психофизики» (Deutsch, 2013). В рамках данного направления предприняты попытки построения моделей «тембрального пространства» (McAdams et al., 1995), а также активно изучаются особенности восприятия тембра и тембровых изменений при различных условиях прослушивания (Kong et al., 2011).

Ко второму направлению можно отнести исследования, изучающие физиологические реакции организма при прослушивании музыки. Установлено, что в этих условиях происходят изменения ряда показателей автономной нервной системы, таких как ритмы сердца и дыхания (Bernardi et al., 2006), уровень электропроводности кожи (Guhn et al., 2007) и гормональный статус (VanderArk, Ely, 1993). Продемонстрировано также положительное влияние классической музыки на восстановление функционального состояния после учебных нагрузок у студентов (Геворкян и др., 2013) и реабилитационное воздействие (по показателям изменений ЧСС и индекса напряжения) на вегетативный статус учащихся (Dousty et al., 2011).

Третье направление изучает влияние прослушивания и исполнения музыки на когнитивные способности. Этот вопрос рассматривается в контексте сравнения когнитивных функций (память, языковые навыки, способность к ориентации в пространстве и т.д.) и музыкальных

способностей музыкантов и не-музыкантов, а также влияния прослушивания музыки и занятий музыкой на когнитивные функции (Deutsch, 2013).

В качестве четвертого направления можно выделить исследования, изучающие терапевтическое применение музыки для коррекции различных патологических состояний и реабилитации. Отдельно стоит выделить использование музыки в процедурах тренингов по принципу биологической обратной связи. Отмечено, что музыкальные воздействия могут обладать повышенной эффективностью, если они согласуются с биоэлектрическими характеристиками нервной системы (Федотчев, Радченко, 2013). Показано, что использование музыки в качестве информационного сигнала обратной связи способствует нормализации и коррекции стрессовых состояний (Федотчев и др., 2015). Относительно недавно возникла модификация этого метода, в которой предлагается использовать преобразование биопотенциалов человека в музыкальный сигнал в реальном времени в процессе процедуры (Константинов и др., 2014; Федотчев и др., 2016).

Перечисленные выше подходы, как правило, используют либо отдельные акустические тона, либо существующие музыкальные фразы или произведения целиком. Гораздо меньше внимания уделяется выяснению механизмов воздействия на организм человека конкретных мелодических и ритмических элементов музыки.

Основными аспектами музыки являются тональные отношения между музыкальными звуками (тональное пространство), и метр и ритм (организация звуков во времени). Ключевым фактором восприятия мелодий и гармоний является тональная система отсчета, которую обычно называют гаммой. В классической европейской музыке доминирует диатоническая гамма, ноты которой отличаются как по звуковысотности, так и по уровню притяжения к тональному центру - тонике (первой ноте гаммы). Общепринятая формула тонального синтаксиса состоит из трех трезвучий, построенных на диатонических ступенях гаммы I-IV-V-I. Переориентация диатонической гаммы с одной тоники на другую, то есть переход из одной

тональности в другую в пределах той же самой композиции, называется тональной модуляцией (Дубовский и др., 1965, Способин, 1969).

Именно особенности физиологических эффектов тональной модуляции стали основной целью настоящего исследования.

Цель исследования

Выявление закономерностей нейрофизиологических механизмов обработки тональной модуляции в музыкальных стимулах на основании показателей биоэлектрической активности мозга и вегетативной регуляции.

Задачи исследования

1. Сравнение спектральных характеристик RR интервалов в процессе прослушивания музыкальных произведений с различными характеристиками музыкальной выразительности.
2. Оценка спектральных и топографических характеристик электроэнцефалограммы при прослушивании гармонических последовательностей, содержащих тональные модуляции во всех возможных вариациях расстояния модуляции и ладового условия.
3. Сравнение спектральных характеристик ЭЭГ при прослушивании фрагментов классических музыкальных произведений и гармонических прогрессий с модуляциями в доминанту, субдоминанту и сексту.
4. Сравнение амплитудно-временных характеристик волн N200 и P600 событийно-связанных потенциалов при обработке близких и дальних тональных модуляций.

Положения, выносимые на защиту

1. Кратковременное прослушивание классических музыкальных произведений приводит к широкому спектру изменений тонуса вегетативной нервной системы, результат которых зависит от

исходного типа вегетативной регуляции и структуры спектра variability сердечного ритма.

2. Близкое расстояние тональной модуляции и мажорное ладовое условие вызывают меньший уровень функциональной активности корковых структур по сравнению с минорным ладовым условием и дальним расстоянием, изменения уровня функциональной активности более устойчивы при наличии дополнительных средств музыкальной выразительности в прослушиваемых фрагментах.
3. Нейрофизиологическая обработка тональной модуляции, независимо от ее расстояния, происходит через 150-250 мс после прослушивания и проявляется в уменьшении амплитуды волны N200 во фронто-центральных областях коры, в то время как обработка тонального расстояния происходит через 550-650 мс после прослушивания и проявляется в увеличении амплитуды волны P600 во фронтальных областях коры в ответ на увеличение расстояния тональной модуляции.

Научная новизна

Показано, что испытуемые с исходным парасимпатическим типом вегетативной регуляции («ваготоники») в большей степени подвержены изменению типа вегетативной регуляции при прослушивании эрготропного (активирующего) музыкального произведения, и данные изменения носят у них более устойчивый характер. Схожая динамика наблюдается для испытуемых с исходным симпатическим типом регуляции («симпатотоники»), прослушавших тротропное (успокаивающее) музыкальное произведение. Отмечается, что на результат прослушивания музыкального произведения влияют такие параметры, как исходная структура спектра variability сердечного ритма и исходный уровень вегетативного баланса.

Установлено, что при прослушивании фрагментов с начальными мажорными ладовыми условиями отмечается больший уровень

синхронизации корковых структур на частоте альфа ритма в височных и центральных отведениях. При прослушивании фрагментов с дальним расстоянием тональной модуляции отмечен больший уровень бета и тета синхронизации и меньший уровень альфа синхронизации.

Показано, что прослушивание гармонических последовательностей и фрагментов классических музыкальных произведений вызывает событийно связанную синхронизацию колебаний биопотенциалов коры в частотном диапазоне альфа ритма. При прослушивании фрагментов музыкальных произведений с модуляцией в доминанту отмечается меньший уровень синхронизации колебаний биопотенциалов в альфа диапазоне по сравнению с другими модуляциями. По сравнению с гармоническими последовательностями, прослушивание отрывков из классической музыки приводит к меньшему снижению синхронизации колебаний биопотенциалов в альфа диапазоне после прослушивания.

Обнаружено уменьшение амплитуды волны N200 при прослушивании гармонических последовательностей вне зависимости от степени модуляции. Было выявлено увеличение амплитуды P600 в ответ на увеличение тонального расстояния между начальной и конечной тониками.

Теоретическая и практическая значимость

Исследовано влияние восприятия тональной модуляции на характеристики электроэнцефалограммы и вариабельности сердечного ритма. Выявлены эффекты мажорных и минорных ладовых условий и зависимость этих эффектов от степени модуляции.

Полученные электрофизиологические данные способствуют лучшему пониманию нейрофизиологических механизмов обработки тональной модуляции и могут обеспечить более эффективное применение музыки и музыкоподобных сигналов в качестве средства развития когнитивных способностей и коррекции патологических состояний. Одним из примеров являются реабилитационные процедуры с применением биологической

обратной связи, где использование полученных данных позволяет повысить эффективность процедур.

Получены амплитудно-временные характеристики нейрофизиологических процессов обработки тональных модуляций и их расстояния, что открывает возможности для дальнейшего исследования процессов обработки музыкального синтаксиса.

Апробация работы

Результаты исследования были доложены и обсуждались в рамках следующих научных конференций:

1. XXI Съезд Физиологического общества им. И.П. Павлова (Калуга, Россия, 2010);
2. III Евразийский конгресс по медицинской физике и инженерии «Медицинская физика – 2010» (Международная конференция, Москва, Россия, 2010);
3. Нейронаука для медицины и психологии (7 Международный междисциплинарный конгресс, Судак. Крым, Украина, 2011)
4. Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях-2011 (Всероссийская конференция, Н. Новгород, Россия, 2011);
5. Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях-2013 (Всероссийская конференция, Н. Новгород, Россия, 2013);
6. The 17th World Congress of Psychophysiology (IOP 2014) (Всемирный конгресс, Хиросима, Япония, 2014);
7. Естественнонаучный подход в современной психологии (Всероссийская конференция, Москва, Россия, 2014);
8. XVII Всероссийская научно-техническая конференция "Нейроинформатика-2015" (Всероссийская конференция, Москва, Россия, 2015);

9. Психология XXI века: академическое прошлое и будущее (Международная конференция, Санкт-Петербург, Россия, 2015);
10. Когнитивная наука в Москве: новые исследования. (Всероссийская конференция, Москва, Россия, 2015);
11. Нейронаука для медицины и психологии (11 Международный междисциплинарный конгресс, Судак, Крым, Россия, 2015);
12. Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях - 2015 (Всероссийская конференция, Н. Новгород, Россия, 2015);
13. V Съезд биофизиков России (Ростов-на-Дону, Россия, 2015);
14. The 18th World Congress of Psychophysiology (IOP 2016) (Международная конференция, Гавана, Куба, 2016)
15. Седьмая международная конференция по когнитивной науке (Международная конференция, Светлогорск, Россия, 2016)

Публикации

По тематике работы опубликовано 24 печатные работы, из них 5 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 130 страницах машинописного текста и имеет следующую структуру: введение, обзор литературы, описание и обоснование материала и методов исследования, главы «Результаты и обсуждение собственных исследований», содержащей разделы с описанием следующих экспериментов: «Исследование влияния исходных параметров вегетативной регуляции на результат прослушивания музыкальных произведений»; «Исследование влияния ладового условия и расстояния тональной модуляции на спектральные показатели ЭЭГ»; «Исследование влияния тональной модуляции на спектральные показатели ЭЭГ при

прослушивании гармонических последовательностей и фрагментов классических музыкальных произведений»; «Исследование возможных нейрофизиологических механизмов обработки расстояния тональной модуляции с применением технологии событийно-связанных потенциалов», заключение, выводы, список литературы и приложение. Текст диссертации содержит 31 рисунок и 26 таблиц. Библиографический список включает 178 источников, из них 141 -иностранных.

Глава 1. Обзор литературы

1.1. Эффекты прослушивания музыки

1.1.1. Особенности восприятия и обработки музыки

Процесс восприятия и обработки музыки разделяют на 3 стадии (Montinaro, 2010):

1. Стадию элементарного восприятия слухового музыкального стимула;
2. Стадию структурного анализа музыки на элементном уровне (анализ высоты, интенсивности, ритмической организации, длительности, тембра) и специализированном уровнях (выделения отдельных музыкальных фраз, темы);
3. Стадия идентификации целого музыкального произведения.

Отмечено, что за каждую из этих стадий отвечают различные кортикальные центры (Montinaro, 2010), отдельные компоненты музыки (высота тона, ритм, тембр) также обрабатываются отдельными нейрональными системами (Levitin, Tirovolas, 2009). Успешное узнавание музыки осуществляется за счет системы так называемой музыкальной памяти, в которую входят такие структурные компоненты как правая верхне-височная борозда, правый гиппокамп и левая нижне-лобная извилина (Watanabe et al., 2008; Peretz et al., 2009).

Был проведен анализ элементов музыки, вызывающих наблюдаемые при ее прослушивании физиологические реакции (Gomez, Danuser, 2007). Отмечается, что темп, акцентуация и ритмическая артикуляция музыкального произведения относятся к наиболее коррелирующим с физиологическими показателями признакам. Музыка, вызывавшая при прослушивании увеличения частоты и амплитуды дыхательных движений, увеличение уровня кожной электрической проводимости и частоты

сердечных сокращений, характеризовалась быстрым темпом и отрывистой артикуляцией. Авторы делают заключение о том, что ритмические элементы музыки являются основными детерминантами физиологических реакций на ее прослушивание.

Другой группой исследователей было показано, что способность детектировать ритмические компоненты музыки отмечается уже у младенцев и восприятие ритмической структуры музыки является врожденным свойством человека (Winkler et al., 2009). Отмечается, что при прослушивании музыкальных ритмов происходит активация не только слуховых, но и моторных зон коры головного мозга, что указывает на существование врожденных связей между этими областями (Chen et al., 2008).

Для объяснения особенностей восприятия музыкальных ритмов была предложена концепция «нейронального резонанса» (Large, Snyder, 2009). Согласно этой концепции, восприятие ритмической структуры музыки опосредуется ритмическими вспышками высокочастотной нейрональной активности в ответ на музыкальные ритмы. Такие вспышки делают возможным коммуникацию между различными нервными центрами. Делается предположение, что эволюционно музыкальные ритмы формировались на основе моторных ритмов, контролирующих движения, дыхание и сердцебиение.

Отмечается, что обработка такой ритмической характеристики как метр модулируется за счет механизмов тормозного нисходящего контроля. Подобный эффект наблюдался как для аудиторной, так и для зрительной модальности. Авторы выдвигают предположение, что обработка временной организации не является модально специфичной (Celma-Miralles et al., 2016).

Исследование особенностей распознавания мелодии показало, что одним из ключевых элементов восприятия мелодии является мелодический

контур (Deutsch, 2013). Была показана согласованная активация правой верхне-височной борозды, левой нижней теменной долики и передней поясной коры при обработке изменений тонального контура (Lee et al., 2013). Отмечено, что распознавание знакомых мелодий сохраняется при изменении темпа, тембра и регистра, в котором она проигрывается (Peretz, Zattore, 2005).

Было показано, что в обработке соотношений между звуками разной высоты важную роль выполняет височный отдел правого полушария мозга (Zattore, 1985; Peretz, Zattore, 2005). Наибольшее ухудшение обработки высоты звуковых интервалов наблюдается при повреждении передней части правой поперечно-височной извилины (Heschl gyrus). Отмечается, что в обработку звуковых интервалов также включены области вторичной слуховой коры (Zattore et al., 2002). Вторичная слуховая кора активируется при обработке отношений между звуками разной частоты во времени в случаях незначительных изменений частоты звука. Авторы связывают это с процессами раннего анализа мелодической информации, а не с анализом и обработкой непосредственно частоты звука. Это также согласуется с последними данными ЭЭГ и МЭГ исследований, в которых отмечается реакция областей слуховой коры на предъявления тонов разной частоты без участия процессов внимания. Обработка мелодического контура и звуковых интервалов при восприятии мелодии происходит преимущественно в правой поперечно-височной извилине, в то время как при отсутствии четко выраженного контура наблюдается активация областей вторичной слуховой коры. Было показано, что аналогичная межполушарная асимметрия с усилением активации в правой височной области наблюдалась у младенцев при прослушивании различных мелодических интервалов и контуров (Hughes, 2001). Было также отмечено, что нарушения функции восприятия мелодии и нарушения функции воображения наблюдаются у пациентов с повреждениями правой слуховой области коры. Выдвигается предположение о том, что при конструировании новых мелодий активируются те же области,

что и при прослушивании реальных мелодий, и задействованы аналогичные механизмы обработки (Zattore, Halpern, 1993).

Обнаружено, что плотность серого вещества и толщина коры в межтеменной борозде положительно коррелирует с эффективностью выполнения заданий на перенос мелодий (Foster, Zattore, 2010). Было проведено лонгитюдное исследование детей в возрасте 10, 11.5, 13 и 14 лет и их способности к решению задач по переносу мелодии (Sutherland et al., 2013). Отмечено, что плотность коры в межтеменной борозде не коррелировала с эффективностью переноса мелодии в возрасте 10, 11.5 и 13 лет. Однако в 14 лет появилась значимая корреляция между плотностью коры в межтеменной борозде и эффективностью переноса мелодии у девушек; у мальчиков же она по-прежнему отсутствовала. Авторы объясняют это анатомическими особенностями развития мозга у мужчин и женщин в подростковый период. Это исследование позволяет говорить о том, что люди не рождаются с возможностью распознавания и эффективным восприятием мелодии, а эта способность развивается совместно с развитием мозга (так, межтеменная борозда активируется также при решении задач на поворот объектов, арифметические операции, слуховые временно-обратные задачи и т.д.).

Было исследовано влияние знакомой мелодии на младенцев в возрасте до 1 месяца (Granier-Deferre et al., 2011). Предварительно беременным женщинам на протяжении 35, 36 и 37 недели беременности включалась определенная мелодия. У младенцев отмечалось снижение ЧСС в ответ на данную мелодию, которое сохранялось в течение 1 месяца после рождения, что позволяет предполагать, что возможность восприятия и запоминания мелодии формируется у человека еще до его рождения.

В ряде работ была исследована роль музыкального сопровождения различных видов деятельности. Показано, что при адекватном подборе музыкального сопровождения могут улучшаться или оптимизироваться

показатели операторской деятельности (Фролов и др., 2005). Отмечено, что при фоновом прослушивании музыки может происходить изменение латентных периодов двигательных реакций на зрительные стимулы (Павлыгина и др., 2009а) и увеличивалась результативность распознавания зашумленных зрительных образов (Павлыгина и др., 2009б).

Стоит отметить, что по поводу влияния музыкального сопровождения на когнитивные функции в научной литературе встречаются противоречивые мнения. Показано, что разные виды музыкального сопровождения, различающиеся по мелодичности и темпу, не оказывают существенного влияния на уровень заучивания вербального материала (Jäncke, Sandmann, 2010). В другом исследовании отмечалось существенное повышение уровня выполнения как вербальных, так и не вербальных задач на фоне прослушивания музыки Моцарта (Angel et al., 2010). Показано, что при фоновом воздействии музыки, предварительно выбранной или одобренной самими испытуемыми, наблюдалось повышение результативности спортивных тренировок (Nakamura et al., 2010), и улучшались показатели настроения и точность выполнения когнитивных заданий у программистов (Lesiuk, 2010).

1.1.2. Музыка и эмоции

Одним из основных исследуемых в последнее время вопросов является анализ эффектов, вызываемых прослушиванием музыкальных произведений с различной эмоциональной окраской. В качестве одной из изучаемых эмоциональных характеристик музыки выделяют ладовое условие (мажорное или минорное), которые были исследованы с применением методов функционального магнитно-резонансного имиджинга. Было показано, что в оценку тональности вовлечены лобные и таламические структуры мозга (Mizino, Sugishita, 2007). В условиях умственного утомления от выполнения творческих когнитивных задач прослушивание

мажорной музыки приводило к более успешному восстановлению, чем при прослушивании минорной (Suda et al., 2008).

Установлено, что распознавание радостного или грустного характера музыкальных фрагментов вовлекает подкорковые и неокортикальные структуры мозга, которые специфичны для регуляции эмоций при восприятии стимулов различных модальностей (Khalfa et al., 2005). Состояния радости и грусти находят отражение в интегральной активации целого ряда мозговых структур – вентрального и дорзального стриатума, которые участвуют в регуляции подкрепления и движения, передней цингулярной коры, которая осуществляет контроль направленного внимания, и медиальных височных зон коры, которые вовлечены в процессы оценки и регуляции эмоций (Mitterschiffthaler et al., 2007). Отмечается, что универсальным, то есть не зависящим от предыдущего музыкального опыта, является предпочтение консонансов и неприятие диссонансов (Bidelman, Krishnan, 2009). Прослушивание музыки, не имеющее явной биологической значимости для человека, тем не менее обладает свойством положительного подкрепления, так как многие люди слушают ее ради удовольствия. Было выдвинуто предположение, что подкрепляющие аспекты музыки связаны со сдвигами уровня эмоциональной активации. Было проведено исследование связи динамики субъективных оценок удовольствия от прослушивания музыки и текущими значениями физиологических индикаторов эмоциональной активации (изменения частоты пульса и дыхания, электрокожной проводимости, температуры тела). Было показано, что между оценками удовольствия и величиной активационных физиологических сдвигов существует положительная связь, причем в случае отсутствия удовлетворения от прослушивания музыки наблюдалось и отсутствие значимых реакций в эмоциональной сфере (Salimpoor et al., 2009).

Показано, что при прослушивании музыки отмечаются изменения активности всех основных лимбических и паралимбических структур,

задействованных в процессах инициации, генерации, поддержания и модуляции эмоций (Brownetal., 2004). Установлено, что эмоциональные реакции на музыку всегда сопровождаются реакциями вегетативной нервной системы (Ellis, Thayer, 2010), сердечнососудистой системы (Trappe, 2010) и гармональной сферы, которая в свою очередь модулирует активность иммунной системы (Koelsch, Siebel, 2005).

Музыкальный опыт людей тесно связан с его эмоциональной привлекательностью. Исследования музыки и эмоций показали, что система для анализа эмоциональной выразительности стоит обособленно от восприятия музыки (Deutsch, 2013). Определение эмоционального тона в музыке может не нарушаться при повреждениях головного мозга, тогда как само восприятие музыкальных компонентов ухудшается (Peretz, Zattore, 2005). Это указывает на то, что эмоции в музыке воспринимаются независимо от ее физических характеристик. Так, мажорный или минорный лад и музыкальный темп может передавать эмоции в музыке, но они не влияют на распознавание мелодий. Основываясь на том, что анализ выразительности эмоции осуществляется как производная от основного тона и временного отношения, Peretz (Peretz, 2001) предполагает, что эмоциональный анализ может быть опосредован единой кортикальной системой, не предполагая прямого доступа к подкорковым и лимбической системам. Из этого следует, что при прослушивании музыки может вызываться 2 вида эмоций по разным механизмам. Первый механизм - это те самые эмоции, которые музыка вызывает в человеке без участия его лимбической системы, а второй – оценочные эмоции конкретного произведения. Предполагается, что именно так в человеке могут появляться «смешанные» эмоции (Juslin, Sloboda, 2010) после прослушивания музыкальных композиций.

Показано, что прослушивание музыки вызывает активность в регионах, тесно связанных с физиологическими механизмами поведенческого подкрепления. Отмечается, что созвучные мелодии связаны с

деятельностью правой орбито-фронтальной коры и медиальной поясничной извилины, тогда как при увеличении диссонанса коррелируют с активностью в правой парагиппокампальной извилине и правом клине. Как известно, правая парагиппокампальная извилина играет разнообразные роли в нервной системе, а также взаимодействует с миндалиной. Это объясняет, почему паралимбическая система и неокортекс имеют существенно различающиеся ответы на диссонансные и консонансные мелодии (Limb, 2006) и, таким образом, центральная обработка музыкального произведения может активировать примитивные нервные субстраты, ответственные за возбуждение или страх. В этом случае, музыка могла бы послужить отличным посредником для изучения взаимодействия между неокортикальными опосредованными когнитивными процессами и подкорково-аффективными реакциями. Второй (оценочный) механизм появления эмоции в музыке может быть связан с тем, что ее акустические модели часто похожи на те, которые формируются при восприятии эмоциональной речи и усваиваются индивидом на протяжении жизни (Deutsch, 2013). Поэтому музыкальные фрагменты заставляют мозг автоматически реагировать на определенные стимулирующие сигналы, как будто они озвучены человеческим голосом для передачи эмоций. Предполагается, что в этом процессе может участвовать система зеркальных нейронов, участвующих в формировании эмпатии. Более того, часть музыкальных инструментов акустически представлена в диапазоне человеческого голоса, что увеличивает вероятность срабатывания этого механизма (Juslin, Sloboda, 2010).

Были выявлены различия в ответах мозга при регистрации событийно-связанных потенциалов (ССП) при прослушивании мелодически и гармонически нарушенных мелодий (Koelsch, Jentschke, 2010). Проводилось сравнение восприятия испытуемыми негармонических окончаний мелодий и аккордов. Для обеих задач отмечалось увеличение амплитуды ССП в окне 125мс в лобных отведениях, но негармоничные

аккорды также вызывали увеличение амплитуды волны ранней передней правой негативности (ERAN) с пиком в 180мс. Другие исследователи с использованием магнитоэнцефалографии наблюдали ERAN при появлении неожиданных нот (Hernolz et al., 2008; Yasui et al., 2009). Кроме того, было показано, что гармонические нарушения вызывают поздние компоненты в окне 500-550 мс (N5). Обнаружено, что менее ожидаемые ноты в окончании мелодии по сравнению с более ожидаемыми вызывают увеличение амплитуды ССП в окне 90-130мс (N1), преимущественно справа во фронтально-центральных отведениях (Carrus et al., 2013).

Kim с соавторами (Kim et al., 2014) в своих исследованиях с использованием МЭГ подтвердили разницу в обработке гармонических нарушений мелодии и аккордов. Также, они показали, что неожиданные аккорды вызывают более выраженные пики в ERAN при проигрывании одновременно 2 разных мелодий. Это указывает на то, что человек воспринимает гармонию аккорда независимо от мелодической составляющей, однако мелодия оказывает влияние на восприятие гармонии.

1.1.3. Музыка и реакции физиологических систем организма

Одним из важных направлений исследований является изучение специфики динамического взаимодействия между структурой музыкальных композиций и реакциями систем организма при их прослушивании. Было проведено исследование динамики сердечного ритма, дыхания, кровяного давления, уровня артериального и кожного кровотока при прослушивании произведений, характеризующихся разной степенью ритмической и эмоциональной выразительности (Bernardi et al., 2009). Отмечено, что при прослушивании вокальных или оркестровых крещендо наблюдались пропорциональные реакции сужения сосудов, изменения кровяного давления и сдвиги других показателей, что позволяет предполагать, что фрагменты музыки с повышенной музыкальной выразительностью находят значимое отражение в физиологических реакциях организма.

Отмечено, что музыка может вызывать сильные чувства эйфории и влечения, сопоставимые с эффектами природных подкрепляющих систем мозга (reward system), однако механизм такого воздействия мало изучен (Azizi, 2009). В ряде исследований показано, что пиковые эмоциональные реакции при прослушивании музыки сопровождаются активацией nigrostriatной дофаминергической системы и высвобождением эндогенного дофамина (Salimpoor et al., 2011).

В ряде работ были исследованы эффекты воздействия музыки на вариабельность сердечного ритма (ВСР). Отмечается, что ВСР является высокоинформативным индикатором функционального состояния сердечнососудистой системы и резервных возможностей организма (Быков и др., 2003). Это важно при анализе тонких эффектов, вызываемых музыкой в физиологических реакциях организма (Кириллова и др., 2007, Ellis, Thayer, 2010).

Был установлен выраженный полиморфизм субъективных вегетативных ЭЭГ-реакций испытуемых на однотипные воздействия, причем при их повторении у одних испытуемых наблюдались те же реакции, а у других они существенно отличались, что авторы объясняют разными стереотипами восприятия. Анализ частоты пульса и показателей ЭЭГ был использован для выявления особенностей обработки приятной и неприятной музыки (Sammler et al., 2007). Установлено, что прослушивание неприятной музыки сопровождается достоверным снижением частоты пульса, а приятной – ростом выраженности срединного лобного тета-ритма ЭЭГ. При восприятии классической музыки отмечается генерализированный рост выраженности и снижение частоты альфа-ритма ЭЭГ (Сулимов и др., 2000), а в ответ на рок-музыку – увеличение мощности тета– и альфа1-ритмов (Павлыгина и др., 2004).

При помощи регистрации ЭЭГ были выявлены особенности динамики эмоциональных состояний при прослушивании музыки (Lin et al.,

2010) и показано, что реакции мозга на мелодии опережают реакции на соответствующие аккорды, т.е. обработка мелодической информации осуществляется в первую очередь (Koelsch, Jentschke, 2010).

1.1.4. Клинические эффекты прослушивания музыки

Музыкальная терапия может вызывать улучшение психического и физиологического состояния человека благодаря ряду факторов. В качестве одного из них можно выделить свойство музыки автоматически привлекать к себе внимание, что способствует отвлечению внимания от негативных переживаний. Этот фактор лежит в основе процедур музыкальной терапии для подавления боли, снятия стресса и тревожности, лечения синдрома дефицита внимания и гиперактивности (Федотчев и др., 2016)

Показано, что через модуляцию активности эмоциональной сферы музыка может играть позитивную роль в лечении аффективных расстройств, таких как депрессия, тревожность, посттравматический стресс (Koelsch, 2009).

Клинические исследования выявили, что прослушивание музыки после острых психических переживаний приводит к улучшению состояния, которое сопровождается снижением мощности низкочастотных ритмов ЭЭГ в теменных и затылочных областях (Morgan et al., 2010). При проведении лечебных процедур, связанных с острым ощущением боли, отмечено, что прослушивание музыки оказалось эффективным нелекарственным средством обезболивания и подавления тревожности у детей (Klassen et al., 2008) и у взрослых (Wakim et al., 2010).

Были продемонстрированы позитивные эффекты прослушивания музыки при проведении реабилитационных процедур. Основой этих эффектов считается одновременная активация и координированное участие моторных, зрительно-пространственных и вербальных механизмов, поддерживающих и нормализующих функции мозга, нуждающиеся в

реабилитации (Antonietti, 2009). Отмечается, что применение музыкальной терапии после мозговых инсультов приводит к существенному улучшению моторных функции и сопровождается характерными изменениями ЭЭГ, свидетельствующими об увеличении кортикальной проводимости и усиленной активации моторной коры (Altenmüller et al., 2009, Forsblom et al., 2009). Показано, что ежедневное прослушивание музыкальных произведений в ходе реабилитационных процедур после нейрональных поражений вызывает долговременные пластические перестройки в механизмах сенсорной обработки информации, которые способствуют восстановлению высших когнитивных функций (Särkämö et al., 2010).

Был продемонстрирован оригинальный подход к лечению тиннитуса (неустраняемого шума в голове) с помощью музыки, специально преобразованной в соответствии с индивидуальными характеристиками мозга пациента (Okamoto et al., 2010, Stracke et al., 2010). Авторы исходили из того, что данное заболевание характеризуется нарушениями слуховой коры, соответствующими индивидуальной для каждого пациента частоте шума. Больным предъявлялись для прослушивания музыкальные произведения с вырезанными полосами индивидуально-специфичных частот. После нескольких месяцев регулярного прослушивания было отмечено достоверное снижение уровня шума в голове. Предполагается, что основу терапевтического воздействия данного метода составляет вызываемая музыкой перестройка кортикальных структур (Okamoto et al., 2010) и стимуляция механизмов пластичности мозга (Wilson et al., 2010). Было проведено повторное рандомизированное контрольное исследование эффективности данного подхода к лечению тиннитуса, которое показало, что уровень шума в голове значимо снижался в экспериментальной группе, а улучшение состояния сохранялось в течение 12 месяцев наблюдений (Li et al., 2016).

1.2. Эффекты, связанные с исполнением музыки

Исполнение музыки является одним из наиболее сложных видов когнитивной деятельности, поскольку требует строгой временной упорядоченности сразу нескольких иерархически организованных видов деятельности и точного контроля над их результативностью (Zattore et al., 2007).

1.2.1. Исполнение музыки и пластичность мозга

Исполнение музыки, как уже отмечалось выше, требует восприятия целого комплекса мультимодальных сигналов – слухового, зрительного, соматосенсорного, а также контроля со стороны двигательной системы. В связи с этим акт исполнения музыки может рассматриваться как адекватная нейрофизиологическая модель для изучения механизмов мультимодальной интеграции и пластичности мозга (Pantev et al., 2009).

Отмечено, что уже после короткого периода обучения игре на музыкальных инструментах выявляется активация нейронных ансамблей в пределах верхней теменной зоны, что может свидетельствовать о начале перестроек в функциональных связях мозга (Stewart et al., 2003). При парном совместном исполнении музыки, у исполнителей отмечались процессы фазовой синхронизации ЭЭГ, сопровождающие координированные действия (Linderberger et al., 2009). Сравнение данных функционального магнитно-резонансного имиджинга у профессиональных оперных певцов, студентов-вокалистов и непрофессионалов при исполнении оперных арий показало, что уровень вокальных навыков связан со степенью активации соматосенсорной и сенсомоторной областей коры, таламуса и мозжечка (Kleber et al., 2010).

В последние годы активно проводятся исследования структурно-функциональных особенностей мозга у профессиональных музыкантов. Основной задачей подобных исследований является выявление взаимосвязей между музыкальными навыками и специфическими структурными

изменениями мозга (Chakravarty, Vuust, 2009). Показано, что пластические перестройки мозга музыкантов под влиянием занятия музыкой включают как актуализацию существующих, так и формирование новых кортикальных связей (Pascual-Leone, 2001). Основные отличия музыкантов и нем музыкантов проявляются в объеме серого вещества в моторных, слуховых и зрительно-пространственных областях мозга (Gaser, Schlaug, 2003), особенно в правой слуховой области коры (Bernudez, Zattore, 2005). Отдельно был исследован вопрос о том, являются ли отмечаемые структурные изменения результатом занятия музыкой, или это исходные признаки для данной категории людей. Были сопоставлены размеры мозолистого тела у двух групп детей – контрольной группы и группы занимающихся музыкой (Schlaug et al., 2009). При повторном сравнении через 29 месяцев в группе музыкантов было отмечено увеличение передней части мозолистого тела, которая связывает премоторные и дополнительные моторные зоны обоих полушарий мозга. В другом исследовании отмечалось, что структурные перестройки мозга сопровождались приобретением двигательных и слуховых музыкальных навыков после 15 месяцев занятия музыкой (Hyde et al., 2009). Таким образом, можно сделать заключение, что занятия музыкой вызывают специфические структурно-функциональные изменения мозга, обусловленные механизмами его пластичности.

1.2.2. Музыка и развитие нем музыкальных способностей

Отмечается, что занятия музыкой приводят не только к совершенствованию музыкального мастерства, но и к развитию лингвистических, математических, зрительно-пространственных и других способностей (Schellenberg, 2001). В основе этого, по-видимому, лежит постоянная тренировка моторных, слуховых, мультимодальных навыков, например перевод зрительно-воспринимаемых музыкальных символов в моторные команды при одновременном контроле над воспроизводимыми звуками и получении сигналов обратной связи (Schlaug et al., 2005).

Было проведено исследование, в котором сравнивались коэффициенты интеллекта у детей, посещавших уроки музыки или театрального искусства (Shellenberg, 2004). Отмечено, что после музыкальных занятий прирост коэффициентов интеллекта и успеваемости выше, в то время как посещение уроков театрального мастерства приводило к улучшению показателей социальной адаптации.

В ряде работ исследовался вопрос о влиянии музыкальных занятий на развитие лингвистических способностей. Проводилась регистрация поведенческих и электрофизиологических реакций на предъявление музыкальных и речевых сигналов у профессиональных музыкантов и нем музыкантов. Было показано, что занятия музыкой облегчают детектирование уровня высоты основного тона как в музыке, так и в речи (Schonetal., 2004). Эти изменения затрагивают как корковый, так и подкорковый уровни, а степень их выраженности связана с длительностью занятия музыкой (Musacchia et al., 2007). С этим может быть связана повышенная способность к изучению языков у музыкантов (Wong et al., 2007). При нарушениях речи также наблюдаются нарушения в восприятии и обработке музыки (Jentschke et al., 2008).

Отмечено, что музыканты лучше распознают изменения частоты звука на фоне шума и в незашумленном контексте, и это выражается у них в увеличении амплитуды комплекса волн N1-P2, полученных путем записи событийно-связанных потенциалов. При этом отмечается, что значимые различия у музыкантов проявляются уже при изменении частоты на 5% (Liang et al., 2016). Было проведено исследование влияния музыкального опыта на слуховую обработку различных музыкальных гармоний (Proverbio et al., 2016). Отмечено, что для музыкантов характерна более специфичная нейрональная репрезентация частотных интервалов, которую авторы связывают со специализацией левой височной коры (поля Бродмана 21/38).

Нельзя не отметить, что человек считается единственным из представителей животного царства, который способен синхронизировать движения с музыкой (Levitin, Tirovolas, 2009). Также отмечается, что произвольные движения в такт музыки вовлекают многие корковые и подкорковые структуры мозга именно у человека (Chen et al., 2008).

1.2.3. Клинические эффекты исполнения музыки

Любая форма активного исполнения музыки – вокализация, игра на музыкальном инструменте – представляет собой мультисенсорную и моторную деятельность, которая индуцирует интеграционные механизмы и механизмы пластичности мозга, что может приводить к значительным клиническим эффектам (Altenmüller, 2008, Wan, Schlaug, 2010).

Одним из клинических приложений является использование музыкальных инструментов при проведении реабилитационных процедур у больных, которые после мозговых инсультов страдают от нарушения двигательных функций. Отмечается, что после 3 недель занятий, связанных с освоением навыка игры на пианино или на барабанах, у пациентов наблюдалось существенное улучшение показателей скорости и точности движений, а также повышение уровня моторного контроля при повседневной активности (Schneider et al., 2007).

Высказывается предположение, что занятия музыкой вызывают лечебные эффекты благодаря модуляции специфических параметров нейроэндокринной и нейроиммунной систем в направлении, обратном классической стресс-реакции (Bittman et al., 2001).

Исходя из сходства между поведенческими и нейрофизиологическими механизмами пения и речи, вокальные упражнения считаются потенциально эффективными при лечении речевых нарушений, последствий мозговых поражений и при аутизме (Wan et al., 2010). Отмечается, что групповое пение может приводить к заметным позитивным

сдвигам в состоянии пациентов с болезнью Альцгеймера (Bannan, Montgomery-Smith, 2008).

Показано, что прослушивание беременными женщинами классической музыки приводило к улучшению клинических показателей состояния плода (Gebuzi et al., 2016). Отмечается, что музыкальная терапия приводит к значимому снижению показателей депрессии и тревожности у раковых больных (Jasemi et al., 2016).

1.3. Использование музыки в процедурах биологической обратной связи

Принято считать, что спектральная и временная организация музыки базируется на универсальных принципах обработки звуковой информации человеческим мозгом, которые, видимо, имеют эволюционные корни (Trainor, 2008). Выдвигается даже предположение о том, что эффективность воздействия музыки обусловлена наличием соответствия между иерархической организацией нот и анатомической организацией нервной системы (Azizi, 2009).

Данные положения свидетельствуют в пользу того, что музыкальные воздействия могут обладать повышенной эффективностью, если их организовать в соответствии с биоэлектрическими характеристиками нервной системы человека. В этом направлении можно выделить два основных подхода, которые рассматриваются ниже.

Первый подход применяется в процедурах адаптивного биоуправления, где музыка используется в качестве информационного сигнала обратной связи. В качестве примера можно привести исследование, в котором музыка включалась при превышении альфа ритмом испытуемого определенной пороговой величины и выключалась в случае снижения ниже этого порога. Задачей испытуемого являлся поиск состояния, при котором музыка будет звучать непрерывно (Яковлев и др., 2007). Отмечено, что

подобная процедура приводила к нормализации ЭЭГ и психологического состояния подростков с девиантным поведением. Подобный метод был применен с целью коррекции стрессовых состояний у женщин в период беременности и при подготовке к родам (Федотчев, Ким, 2006). Конкретный вид музыкального произведения выбирался участницами самостоятельно в ходе первой процедуры из предлагаемого списка. Музыка звучала в то время, когда испытуемым удавалось изменять в заданном направлении тот или иной ЭЭГ ритм. Отмечалось снижение уровня стресса и позитивные изменения эмоционального состояния участников исследования. Сделано заключение о том, что данный подход может быть полезным дополнением к общепринятым средствам комплексной терапии патологии беременности (Федотчев, Ким, 2009).

Второй подход возник относительно недавно и получил название «Музыка мозга». Он отличается тем, что вместо заранее подобранных музыкальных произведений в нем используются разные виды цифрового преобразования текущих значений биоэлектрической активности мозга человека в музыкаподобный сигнал. Существует несколько вариантов этого подхода. Один из вариантов представлен методом лечения бессонницы и состоит в регистрации ЭЭГ человека в разных фазах сна и трансформации этих записей в музыку. Отмечается, что прослушивание полученных таким образом музыкальных фрагментов перед сном сокращает время засыпания, увеличивает длительность сна и улучшает самочувствие пациентов после просыпания (Вейн и др., 2003). Впоследствии данный метод был модифицирован за счёт использования набора алгоритмов для преобразования ЭЭГ в музыку. В ряде исследований отмечено, что применение подобного метода приводило к достоверному улучшению показателей сна, сопровождавшемуся снижением уровня депрессии и тревожности, а также повышением уровня избирательного внимания участников исследования (Mindlin et al., 2007).

Еще одно исследование предлагает другой вариант рассматриваемого подхода (Wu et al., 2009). Его ключевым отличием является непрерывное преобразование ЭЭГ в музыку, что позволяет отражать в динамических характеристиках музыки текущее функциональное состояние человека, что особенно важно для мониторинга ЭЭГ в процедурах с биологической обратной связью (Wu et al, 2010).

Помимо ЭЭГ, возможность преобразования в музыку показана для других физиологических параметров организма человека (Minciacchi, 2003). Предложен метод преобразования в музыку частоты сердечных сокращений (Yokoуama et al., 2002). Высказывается предположение о том, что представление информации об активности сердца в таком виде имеет преимущества по сравнению со зрительными или вербальными сигналами.

В ряде исследований текущие биоэлектрические процессы могут преобразовываться не в музыку, а в музыкоподобные звуковые сигналы. Был предложен метод прослушивания акустического образа собственной ЭЭГ человека, при этом отмечалось снижение межполушарных отличий ЭЭГ у больных с астеноневротическим синдромом (Константинов и др., 2000). Впоследствии данный метод был доработан и на его основе был создан метод ЭЭГ-акустической коррекции, в котором компьютерное преобразование текущей ЭЭГ в музыкоподобные сигналы позволяет услышать работу мозга в реальном времени (Яковлев и др., 2007). Ключевой особенностью метода является отсутствие у испытуемого задания на изменение характеристик собственной ЭЭГ. Отмечено, что с помощью данного метода возможно регулировать функциональное состояние человека и модулировать активность слухового и зрительного анализаторов (Константинов и др., 2009). Подобная техника преобразования текущей ЭЭГ получила название «Сонификация ЭЭГ» и предложена для использования в эпилептологии и мониторинга уровня анестезии (Glen, 2010). Авторы считают, что слуховая детекция и идентификация сложных ритмических паттернов ЭЭГ с помощью

данной техники может быть эффективным дополнением к традиционным методам визуального анализа ЭЭГ.

Неоднократно применялся прием преобразования текущей ЭЭГ в музыкаподобные сигналы с целью нелекарственной коррекции стресс-вызванных расстройств (Федотчев, 2009). Исследования базировались на концепции использования сигналов обратной связи от эндогенных ритмов испытуемого (Федотчев и др., 2006) и были проведены с помощью технологии резонансного биоуправления с двойной обратной связью от узкочастотных ЭЭГ осцилляторов (Федотчев и др., 2010). В исследовании приняли участие добровольцы, обратившиеся в кабинет психологической разгрузки с жалобами на состояние эмоционального напряжения и стресса. Под влиянием лечебных процедур у пациентов отмечаются как субъективные, так и объективные признаки, свидетельствующие о положительных эффектах данного воздействия. Были отмечены позитивные сдвиги в уровне самочувствия и настроения испытуемых. Для достижения отмеченных эффектов потребовалось меньшее количество процедур по сравнению с традиционными методами ЭЭГ биоуправления (Федотчев, 2010).

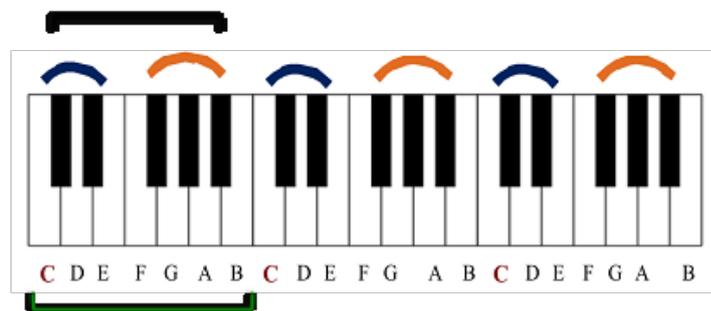
1.4. Предпосылки к исследованию влияния тональной модуляции на функциональное состояние организма и характеристика тональной модуляции в теории музыки

Обобщая рассмотренные в предыдущих главах обзора работы, мы пришли к заключению, что применяемые в них подходы к исследованию влияния музыки на человека, как правило, сводятся к использованию в качестве стимульного материала либо отдельных акустических тонов, либо наборов из произвольно отобранных музыкальных фраз и фрагментов музыкальных произведений. Использование отдельных тонов и изучение особенностей их восприятия и обработки, безусловно, является важной задачей, но эту задачу скорее можно отнести к области акустики, чем непосредственно к изучению самой музыки и ее структурных элементов. Изучение же влияния целых произведений или отдельных их фрагментов затрудняет объяснение возможных механизмов, которые лежат в основе эффектов, производимых музыкой. Связано это, прежде всего, с наличием большого количества структурных элементов как в самих музыкальных произведениях, так и в их составляющих. Например, глобально музыкальные произведения можно разделить на такие части как «экспозиция», «развитие» и «заключение», внутри каждой из частей при этом будут выстраиваться определенные отношения между голосами, будут использоваться различные средства музыкальной выразительности самим композитором, и на все это будут наложены особенности исполнения этого произведения дирижёром и музыкантами. Все это затрудняет выявление конкретных механизмов влияния музыки на человека и создания классификации или иерархии этих механизмов с целью повышения эффективности этого влияния и приводит скорее к появлению разного рода интегральных эффектов (например «Эффект Моцарта»), без какой либо возможности их объяснить и понять.

Более разумным нам кажется подход, при котором исследуется влияние отдельных структурных элементов музыки, с постепенным углублением уровня их интеграции. Подобный подход мы попытались реализовать при выполнении данной работы. Первоначально мы исследовали влияние отрывков из классических музыкальных произведений в зависимости от исходного типа вегетативной регуляции, используя для этого метод регистрации электрокардиограммы (ЭКГ) с последующим анализом показателей variability сердечного ритма (BCP). Следующими нашими задачами было исследование влияния тональной модуляции на функциональное состояние мозга в контексте ладового условия (мажор-минор) и расстояния модуляции и сопоставления этих эффектов в контролируемых стимулах (специально написанные фрагменты, содержащие тональные модуляции) и во фрагментах из классических музыкальных произведений, содержащих аналогичные модуляции. На последнем этапе исследований мы изучали нейрофизиологические механизмы обработки расстояния тональной модуляции при помощи техники регистрации событийно связанных потенциалов (ССП). Далее мы приводим объяснение основных, на наш взгляд, структурных элементов музыки и приводим обзор работ и эффектов, которые были исследованы при изучении тональной модуляции.

В качестве основных структурных элементов музыки выделяют тональные отношения между музыкальными звуками (тональное пространство), и метр и ритм (организация звуков во времени). Ключевым фактором восприятия мелодий и гармоний является тональная система отсчета, которую обычно называют гаммой. В классической европейской музыке доминирует диатоническая гамма, ноты которой отличаются как по звуковысотности (то есть физически – частоте колебаний), так и по уровню притяжения к тональному центру - тонике (первой ноте гаммы). Общепринятая формула тонального синтаксиса состоит из трех трезвучий, построенных на диатонических ступенях гаммы I-IV-V-I (Рис. 1).

Пять хроматических тонов (черные клавиши)



Семь диатонических тонов (белые клавиши)

Рис. 1. Иллюстрация диатонических и хроматических ступеней гаммы. Если проиграть подряд все белые клавиши между двумя ближайшими клавишами «до», то получится гамма **До мажор**. В этой гамме белые клавиши представляют собой **диатонические** тона. Если же проиграть подряд по всем белым и черным клавишам между двумя ближайшими «до», то получится **хроматическая** гамма, которая включает семь диатонических тонов (белые клавиши) и пять хроматических тонов (черные клавиши). (Korsakova-Kreyn, 2010)

Переориентация диатонической гаммы с одной тоники на другую, то есть переход из одной тональности в другую в пределах той же самой композиции, называется **тональной модуляцией** (Дубовский и др., 1965, Способин, 1969). Поскольку в диатонической гамме тона отличаются по уровню притяжения к тонике (Krumhansl, Kessler, 1982), то эта изначальная тональная иерархия задает различные варианты переориентации тональной схемы в тональном пространстве; а именно, переориентации тональной схемы отличаются по степени родства, или согласованности, между начальной и конечной тональностями. Уровень общности информации между начальной гаммой и конечной гаммой определяет расстояние тональной модуляции: чем больше тонов заменяется в конечной гамме по отношению к начальной гамме, тем больше расстояние между двумя

тональностями, и тем меньше уровень «согласованности» между ними (Рис. 1).

Исследования последних лет показывают, что различные степени тональной модуляции формируют характерные эмоциональные ответы (Korsakova-Kreyn, Dowling, 2014). Расстояния между тональностями, отражающие степень их схожести, в теории музыки иллюстрируются квинтовым кругом. Изменение тонального пространства приводит к замене определенного числа нот в конечной гамме по отношению к начальной (Рис. 1). Мажорный и минорный лады являются двумя основными вариантами диатонической гаммы.

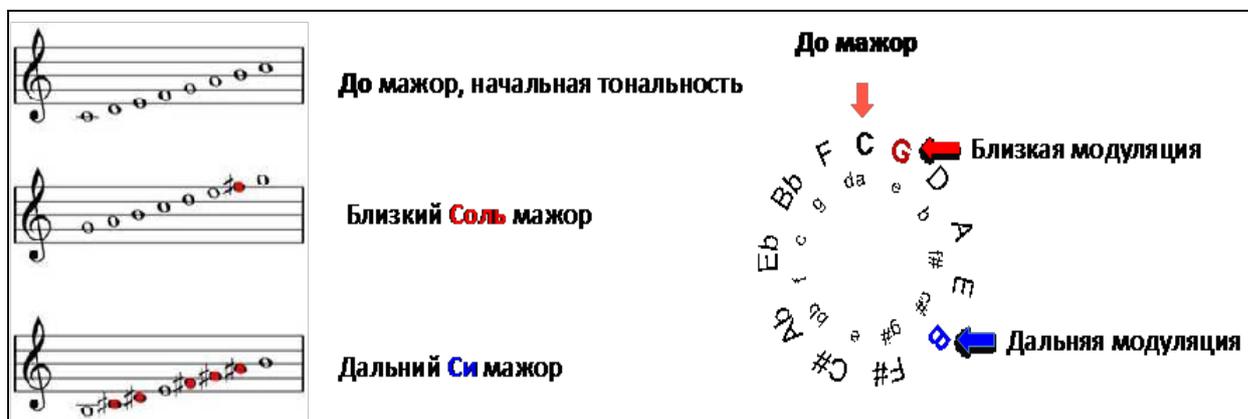


Рис. 2. Расстояния в тональном пространстве. Показано, как переориентация из До мажора (C) в соседний Соль мажор (G) приводит к замене лишь одной ноты, тогда как переориентация из До мажора (C) в Си мажор (B), находящийся на расстоянии 5 шагов по квинтовому кругу, ведет к замещению пяти нот по отношению к начальной гамме. Таким образом, чем дальше расстояние от начальной тоники до конечной тоники, тем больше замен среди нот начальной гаммы. Цветом выделены те ноты, которые замещают начальные ноты в гамме в результате ее изменения в тональном пространстве.

В ходе предыдущих исследований было найдено, что обработка тональной модуляции ассоциируется с волной N200 ССП, ранней правой передней

негативностью (Early Right-Anterior Negativity – ERAN и Early Anterior Negativity – EAN) (Koelsch et al., 2003; Loui et al., 2005; Koelsch, Jentschke, 2008), и с волной P600 (Pattel et al., 1998; Brattico et al., 2010). Волну N200 (РППН или ERAN) связывают с восприятием уровня соответствия мелодии и гармонии (Kim et al., 2014) и с процессами гармонической интеграции (Sammler et al., 2011). Кроме того, волну P600 иногда связывают с обработкой лингвистического синтаксиса, так как она возникает в ответ на предъявление синтаксических нарушений в речи, например, при нарушении грамматики предложений и при прочтении грамматически правильных предложений, которые выстроены таким образом, что их интерпретация будет или неправильной или неоднозначной (Kaan et al., 2000). Данную волну также регистрируют в контексте задач, связанных с восприятием последовательностей (например, последовательностей из геометрических фигур), математическими правилами, и с нарушениями музыкального синтаксиса (Pattel et al., 1998; Lelekov et al., 2000; Carrus et al., 2013). Исходя из результатов данных работ мы предположили, что амплитудно - временные характеристики данных волн ССП должны отражать нейро-когнитивные процессы обработки расстояния тональной модуляции, как одного из ключевых структурных элементов мелодии.

Глава 2. Материалы и методы исследования

В соответствии с поставленными задачами было проведено 4 экспериментальные серии. В этой главе последовательно будут приведены материалы и методы для каждой из экспериментальных серий.

2.1. Методы исследования:

Для оценки влияния исходных параметров вегетативной регуляции на результат прослушивания музыкальных произведений проводилась запись электрокардиограммы с последующим применением методов анализа variability сердечного ритма. Также в этом эксперименте для оценки субъективного состояния испытуемых применялась методика оперативной оценки самочувствия, активности и настроения (САН). С целью изучения нейрофизиологических механизмов обработки тональной модуляции на основании показателей биоэлектрической активности мозга проводилась запись электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и применялась техника регистрации событийно-связанных потенциалов (ССП).

2.2. Участники эксперимента

В эксперименте по исследованию влияния исходных параметров вегетативной регуляции на результат прослушивания музыкальных произведений (далее экспериментальная серия 1) приняло участие 82 добровольца обоего пола в возрасте от 17 до 26 лет. В экспериментах по исследованию влияния ладового условия и расстояния тональной модуляции на спектральные показатели ЭЭГ (далее экспериментальная серия 2) и влияния тональной модуляции на спектральные показатели ЭЭГ при прослушивании гармонических последовательностей и фрагментов классических музыкальных произведений (далее экспериментальная серия 3) приняло участие 15 добровольцев в возрасте от 17 до 28 лет. Все добровольцы участвовали в обеих экспериментальных сериях. В исследовании обработки расстояния тональной модуляции с применением

техники регистрации событийно-связанных потенциалов (ССП) (далее экспериментальная серия 4) приняли участие 20 человек, в возрасте от 17 до 22 лет. Ни один из добровольцев не являлся профессиональным музыкантом и не имел специального музыкального образования, за исключением общеобразовательной школьной программы. Перед участием в эксперименте каждый был ознакомлен и подписал форму добровольного информированного согласия на участие. Все эксперименты были организованы и проводились в соответствии с этическими нормами, установленными в соответствии с Хельсинкской декларацией (принятой в июне 1964 г. (Хельсинки, Финляндия) и пересмотренной в октябре 2000 г. (Эдинбург, Шотландия)).

2.3. Стимульный материал

В экспериментальной серии 1 в качестве стимульного материала использовался отрывок из музыкального произведения Рихарда Вагнера «Полет Валькирии» и отрывок из музыкального произведения Иоганна Себастьяна Баха «Концерт для фортепиано фа-минор. Соч. 2». По совокупности средств музыкальной выразительности произведение Рихарда Вагнера относится к эрготропным (на психологическом уровне способствует эмоциональному подъему, на физиологическом - общей активации, выражающейся в повышении артериального давления, учащении дыхания и пульса), а произведение Иоганна Себастьяна Баха - к трофотропным (способствует чувству спокойствия на психологическом уровне, и общему снижению напряжения на физиологическом) (Декер–Фойгт, 2003). Подробная характеристика стимулов в соответствии с характерными для них средствами музыкальной выразительности приведена в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристика основных средств музыкальной выразительности для фрагментов из музыкальных произведений «Полет Валькирии» Рихарда Вагнера и «Концерт для фортепиано фа минор» Иоганна Себастьяна Баха

Средства музыкальной выразительности	«Полет Валькирии» Рихарда Вагнера	«Концерт для фортепиано фа-минор. Соч. 2» Иоганна Себастьяна Баха
Ладовое условие	Модуляция из си-минора в си-мажор	Фа-минор
Темп	120-144 уд. в минуту	44-52 уд. в минуту
Ритмическая организация	Пунктирный ритм	Отсутствие акцентов
Движение мелодии	Резкое движение	Плавное движение
Особенности исполнения	Наличие элементов стакато	Наличие элементов легато

Аудиофрагменты предъявлялись через наушники, продолжительность аудиофрагментов не превышала 3 минут.

В экспериментальной серии 2 испытуемым предлагалось прослушать набор из 48 аудио фрагментов. Специально для этого эксперимента были написаны 12 коротких музыкальных фраз (автор – М. Корсакова-Крейн), по одной фразе для каждой из 12 степеней модуляции, включая немодулирующее условие, чтобы обеспечить базовые данные для сравнения с теми модуляциями, в которых происходил переход на другой тональный центр и в другой лад. Начала и окончания этих 12 основных фраз были модифицированы так, что получились четыре варианта модуляций для той же самой ступени: из мажора в мажор (М-М), из мажора в минор (М-м), из минора в мажор (м-М) и из минора в минор (м-м). Таким образом, были

получены все возможные ладовые версии для каждой из 12 степеней модуляции. Нотная запись используемых музыкальных фрагментов приведена в приложении (приложение, рис. 19-30).

Каждая музыкальная фраза состояла из 8 аккордов. Первые три-пять аккордов устанавливали начальную тональность, и следующие за ними переходные аккорды совершали модуляцию в заключительную тональность посредством обычной каденции доминанта-тоники. Музыкальные фразы были похожи по темпу, стилю, громкости, тембру и фактуре. Стилистическое единообразие предотвращало интеракцию между ладом и фактурой (Kastner, Crowder, 1990; Webster, Weir, 2005). Фразы отличались по степени модуляции, по ритму и проходящим нотам (для плавности модуляции). Выбор начальной тональности в каждом музыкальном стимуле был произвольным. В зависимости от степени модуляции, некоторые из фраз потребовали меньшее количество переходных аккордов, чем другие. Все модуляции были плавными и не содержали каких-либо неожиданных сопоставлений между аккордами. Каждая музыкальная фраза продолжалась 11 секунд и включала небольшое замедление в конце для более естественного звучания. Последний аккорд продолжался 3 секунды, чтобы подчеркнуть заключительную тональность.

Для анализа стимулы были сгруппированы по тональным расстояниям (см. Таблицу 2) и по четырем ладовым условиям тональной модуляции: из мажора в мажор (М-М), из мажора в минор (М-м), из минора в мажор (м-М), из минора в минор (м-м).

Таблица 2.

Группировка стимулов для анализа в соответствии с ладовыми условиями и расстоянием тональной модуляции.

Ладовое условие	Близкие модуляции	Дальние модуляции
Мажор-Мажор (MM)	0,5,7	1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11
Мажор-минор (Mm)	0,2,4,5,9	1, 3, 6, 7, 8, 10, 11
минор-Мажор (mM)	0,3,7,8	1, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11
минор-минор (mm)	0,5,7	1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11

В экспериментальной серии 3 в качестве стимулов были использованы короткие гармонические последовательности и отрывки из классических музыкальных произведений. Каждый из этих стимулов модулировал в одну из трех ступеней мажорной диатонической гаммы: субдоминанту (5), доминанту (7) и пониженную сексту (8). По стандартной нумерации ступеней хроматической гаммы, тоника принимается за 0 ступень, а вводный тон за 11 ступень. Наш выбор трех целевых ступеней был сделан на основе анализа коротких модулирующих фраз из 132 классических музыкальных произведений, который показал, что субдоминанта (5), доминанта (7) и пониженная секста (8), являются наиболее часто встречающимися целями модуляций в мажорном ладу. Гармонические последовательности были специально написаны для этого исследования (М. Корсакова-Крейн). Каждая последовательность состояла из 8 аккордов. Первые три-пять аккордов устанавливали начальную тональность, а следующие за ними переходные аккорды совершали модуляцию в заключительную тональность посредством обычной каденции доминанта-

тоника. Последовательности были одинаковы по темпу, стилю, громкости, тембру и фактуре. Начальные тональности последовательностей были различны. В зависимости от степени модуляции, некоторые из фраз потребовали меньшее количество переходных аккордов, чем другие; для плавности модуляции, некоторые последовательности включали проходящие ноты. Каждая последовательность имела продолжительность 10 секунд и включала небольшое замедление в конце для более естественного звучания. Музыкальные отрывки были взяты из классических произведений Моцарта, Гайдна, Бетховена, Шуберта, Шопена и Брамса. Отрывки отличались по стилю, темпу, регистру, и штриховому и динамическому разнообразию; их продолжительность была от 10 до 35 секунд.

Прослушивание музыкальных фрагментов для экспериментов 2 и 3 осуществлялось с помощью динамиков, испытуемым давалась инструкция осуществлять прослушивание с закрытыми глазами и не открывать их до команды экспериментатора.

В экспериментальной серии 4 испытуемым предъявлялся ряд гармонических последовательностей (рис. 2) с неподготовленной тональной модуляцией (прерванным оборотом): в субдоминанту - близкая модуляция, которая приводит к замене 1 тона в начальной гамме, малую сексту - дальняя модуляция, которая приводит к замене 4 тонов в начальной гамме, и тритон - дальняя модуляция, которая приводит к замене 6 тонов в начальной гамме.



Рис. 2. Нотная запись и динамический спектр мощностей используемых в эксперименте аудиофрагментов. Гармоническая прогрессия без модуляции (А). Прогрессии с модуляцией: в субдоминанту (В) (близкая модуляция, замена 1 тона в начальной гамме), малую сексту (С) (дальняя модуляция, замена 4 тонов в начальной гамме) и тритон (D) (дальняя модуляция, замена 6 тонов в начальной гамме). Цветом выделен аккорд, на который происходила тональная модуляция.

Для оценки эффекта расстояния модуляции использовалась немодулирующая последовательность (нулевое тональное расстояние). Все фрагменты начинались и завершались в мажорной тональности, состояли из 8 аккордов, были одинаковы по ритму, темпу, продолжительности (9.6 секунд), интенсивности звука, тембру и частотному диапазону. Помимо этого был подготовлен набор «нецелевых» стимулов, состоящий из аналогичного набора последовательностей, но с изменением тембра инструмента на 4й

аккорд последовательности (звучание менялось с фортепьяно на орган или духовые). Все гармонические последовательности предъявлялись в случайном порядке, интервал между предъявлениями прогрессий был случайным в диапазоне от 1500 до 2000 мс. Соотношение целевых и нецелевых стимулов составляло 80\20. Гармонические последовательности предъявлялись через наушники. Эксперимент был подготовлен с помощью ПО «Presentation» (версия 19.0, Neurobehavioral Systems, Inc, Berkeley, CA, www.neurobs.com).

2.4. Процедура экспериментальных серий

Экспериментальная серия 1 содержала следующие этапы:

1. Инструктаж испытуемого и выполнение тестового прослушивания музыкального фрагмента;
2. Заполнение бланка методики САН;
3. Регистрация фоновой ЭКГ длительностью 3 минуты;
4. Регистрация ЭКГ во время предъявления или ожидания предъявления (для контрольной группы) отрывка музыкального произведения
5. Регистрация фоновой ЭКГ длительностью 3 минуты;
6. Заполнение бланка методики САН;

Для контрольной группы проводилась аналогичная процедура исследования, за исключением предъявления стимульного материала во время пробы прослушивания. Испытуемым контрольной группы давалась инструкция, согласно которой музыка могла быть предъявлена или не предъявлена в течение трех минут пробы прослушивания.

Экспериментальная серия 2 содержала следующие этапы:

1. Инструктаж испытуемого и выполнение тестового прослушивания;
2. Регистрация исходного общего фона ЭЭГ (продолжительность – 3 минуты);

3. Непосредственно эксперимент: испытуемому в случайном порядке предъявлялся набор из 48 гармонических последовательностей, после каждого стимула предлагалось заполнить анкету семантического дифференциала;

4. Регистрация конечного общего фона ЭЭГ (продолжительность – 3 минуты).

Прослушивание музыкальных фрагментов осуществлялось с помощью динамиков, испытуемому давалась инструкция осуществлять прослушивание с закрытыми глазами и не открывать их до команды экспериментатора. Вслед за 10 секундным фоном после прослушивания испытуемые заполняли бланк анкеты семантического дифференциала (Korsakova-Kreyn, Dowling, 2014), которая в данном исследовании предъявлялась для поддержания концентрации внимания в процессе обследования.

Экспериментальная серия 3 содержала следующие этапы:

1. Инструктаж испытуемого и выполнение тестового прослушивания стимула;
2. Регистрация исходного общего фона ЭЭГ (продолжительность – 3 минуты);
3. Первый этап непосредственно эксперимента: испытуемому в случайном порядке предъявлялся набор из 24 гармонических последовательностей, после каждого стимула предлагалось заполнить анкету семантического дифференциала;
4. Второй этап непосредственно эксперимента: испытуемому в случайном порядке предъявлялся набор из 24 отрывков музыкальных произведений, после каждого стимула предлагалось заполнить анкету семантического дифференциала;

5. Регистрация конечного общего фона ЭЭГ (продолжительность – 3 минуты).

Прослушивание музыкальных фрагментов осуществлялось с помощью динамиков, испытуемому давалась инструкция осуществлять прослушивание с закрытыми глазами и не открывать их до команды экспериментатора. Вслед за 10 секундным фоном после прослушивания испытуемые заполняли бланк анкеты семантического дифференциала

Экспериментальная серия 4 включала в себя следующие этапы:

1. Инструктаж испытуемого и выполнение тестового прослушивания стимула;
2. Тренировочная серия, в ходе которой испытуемым предлагалось прослушать все возможные варианты последовательностей;
3. Непосредственно эксперимент, в ходе которого участникам эксперимента предлагалось посчитать количество фрагментов с изменениями тембра во время прослушивания.

В ходе непосредственного эксперимента каждые 12 минут делался перерыв, во время которого испытуемые могли отдохнуть и сообщить экспериментатору количество фрагментов с изменениями тембра.

2.5. Параметры записи ЭЭГ и ЭКГ в экспериментальных сериях

Запись ЭКГ производилась в положении сидя при помощи программно-аппаратных комплексов ЭЭГА – 21/26 «Энцефалан – 131 – 03» компании «Медиком–МТД» (Таганрог, Россия) и Нейрософт «ВНС Микро» компании «Нейрософт» (Иваново, Россия); сигнал регистрировался в I стандартном отведении.

Запись электроэнцефалограммы осуществлялась при помощи электроэнцефалографа-анализатора ЭЭГА-21-26 «Энцефалан–131–03» компании «Медиком–МТД» (Таганрог, Россия). Запись велась от 8

электродов (Т3,С3,Сz,С4,Т4,Р3,Рz,Р4) в экспериментах 2 и 3 и 19 электродов (Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, Т3, С3, Сz, С4, Т4, Т5, Р3, Рz, Р4, Т6, О1, О2) в эксперименте 4, расположенных по стандартной схеме «10–20» с референтными электродами на мочках ушей и электродом заземления в вертексе. Частота дискретизации – 250 Гц. Использовались следующие параметры фильтрации исходного сигнала: частота среза фильтра верхних частот – 0,5 Гц, частота среза фильтра нижних частот – 70 Гц, режекторный фильтр на частоте сети – 50 Гц. Значения импеданса не превышали 10 кОм. Для эксперимента 4 проводилась регистрация вертикальной и горизонтальной ЭОГ и ЭКГ в 1 стандартном отведении. Запись ЭЭГ осуществлялась в положении сидя, на кресле, с возможностью регулировки высоты спинки, подлокотников и высоты кресла относительно пола. Во время записи испытуемые находились в полной тишине в комнате без света, с закрытыми глазами.

2.6. Пост-обработка ЭЭГ и ЭКГ:

В экспериментальной серии 1 для оценки типа вегетативной регуляции использовался метод кардиоинтервалографии. С помощью быстрого преобразования Фурье рассчитывался спектр мощности колебаний продолжительности R – R интервалов. Расчет параметров спектра проводился в соответствии со стандартами Европейского Кардиологического Общества и Северо–Американского общества стимуляции и электрофизиологии (Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use, 1996).

Для анализа были использованы следующие спектры частот:

1. Высокие частоты (High Frequency – HF) – 0,15 – 0,40 Гц. Мощность данного диапазона свидетельствует, в основном, об активности парасимпатической нервной системы.

2. Низкие частоты (Low Frequency – LF) – 0,04 – 0,15 Гц. Мощность данного диапазона в основном является маркером активации симпатической нервной системы.
3. Очень низкие частоты (Very Low Frequency – VLF) – 0,003 – 0,04 Гц. Мощность данного диапазона связывают с гуморальной активностью (Баевский Р.М., Иванов Г.Г., 2001)

Вычислялся коэффициент симпатико – парасимпатического баланса («индекс вегетативного баланса» - ИВБ) LF/HF. Рассчитывался доленой вклад каждого компонента спектра в общую структуру.

В экспериментальных сериях 2 и 3 для спектрального анализа ЭЭГ при прослушивании гармонических последовательностей использовались фрагменты записи за 10 секунд до предъявления аудио фрагмента (фон1), 10 секунд во время предъявления аудио фрагмента и 10 секунд после предъявления аудио фрагмента (фон2). Для спектрального анализа фрагментов классических музыкальных произведений использовались данные ЭЭГ за 10 секунд до предъявления аудио фрагмента (фон1), полное время предъявления аудио фрагмента и 10 секунд после предъявления аудио фрагмента (фон2). Анализ проводился в следующих частотных диапазонах: тета (4-8 Гц), альфа (8-13 Гц), бета1 (13-21 Гц) и бета2 (21-35 Гц). Дельта диапазон (0,5-4 Гц) был исключен из анализа из-за большого количества артефактов, связанных с изменениями подэлектродного импеданса ближе к концу экспериментальной серии.

Для вычисления спектральных характеристик электроэнцефалографического сигнала использовался метод на основе дискретного преобразования Фурье, основанный на усреднении по ансамблям, который известен как периодограмма Уэлча. Для каждого канала ЭЭГ в рамках выбранной пробы определялась выборка отсчетов длиной L. Затем эта выборка делилась на N ансамблей длиной 1024 отсчета,

перекрывающихся через 512 отсчетов. Для каждого ансамбля независимо вычислялась спектральная плотность мощности (СПМ) в интервале $[0 \dots M/2]$, что соответствует интервалу частот $[0, Fq/2]$, где $Fq = 250$ Гц – частота дискретизации. Затем для каждого отсчета в интервале интересующих частот производилось усреднение по пересекающимся ансамблям (периодограммы Уэлча) совместно с временным взвешиванием непрямоугольными окнами для сглаживания краевых эффектов и увеличения однородности весов каждого отсчета в результирующей оценке СПМ по ансамблям.

Для статистической обработки использовались относительные значения мощностей по формуле:

$$P_{отн}(f) = \frac{P_{абс}(f)}{P_{абс}} \cdot 100$$

Здесь $P_{абс}(\Delta f)$ – абсолютное значение мощности в частотном диапазоне Δf ; $P_{абс}$ – суммарное абсолютное значение мощности во всех частотных диапазонах.

В экспериментальной серии 4 записи ЭЭГ обрабатывались при помощи ПО «Brainstorm» (версия 161110), распространяемого в рамках открытого лицензионного соглашения (Tadel et al., 2011). Для устранения влияния артефактов, вызванных движениями глаз, проводился анализ каналов ЭОГ скользящим окном 200 мс, пробы со стандартным отклонением выше 35 мВ исключались из дальнейшего анализа. Для устранения артефактов, вызванных движениями и дрейфом сигнала, проводился анализ каждого ЭЭГ канала скользящим окном 500 мс и исключением проб со стандартным отклонением выше 35 мВ. Оставшиеся после автоматической фильтрации фрагменты просматривались экспериментатором. Применялся фильтр нижних частот с частотой среза 35 Гц. По результатам пост-обработки записи 1 испытуемый был полностью исключен из дальнейшего анализа в связи с большим количеством проб, содержащих артефакты от движения глаз.

Полученный после фильтрации сигнал каждого испытуемого усреднялся для каждого стимула в момент проигрывания модулирующего аккорда прогрессии. Для каждой усредненной волны рассчитывались показатели средней амплитуды и фракционной латентности (Luck, 2005) в интервалах 150-250 и 550-650 мс с момента начала звучания модулирующего аккорда.

2.6. Статистическая обработка полученных данных

Статистическая обработка велась при помощи программ Microsoft Office Excel 2010 и Statistica 10.0. Для серии 1 вычислялись коэффициенты корреляции по Спирмену, t критерий Стьюдента для зависимых и независимых выборок. Для серий 2 и 3 вычислялся W -критерий Уилкоксона для зависимых выборок. После этого проводилась поправка на множественные сравнения с помощью метода Беньямини-Йекутили (Benjamini, Yekutieli, 2001). Для анализа использовались показатели спектрального анализа, усредненные по всем отведениям, по отведениям для правого и левого полушария, и показатели для каждого отведения.

Для эксперимента 4 был проведен многомерный дисперсионный анализ с повторными измерениями (ANOVA) с учетом следующих факторов: «Расстояние модуляции»; «Зона» и «Латеральность». Фактор «Расстояние модуляции» включал в себя 4 ступени модуляции, описанные выше. Фактор «Латеральность» включал в себя значения, полученные для электродов, сгруппированных по 5 латеральным осям: ось 1 - F7, T3, T5; ось 2 - F3, C3, P3; ось 3 – Fz, Cz, Pz; ось 4 – F4, C4, P4; ось 5 – F8; T4; T6. Фактор «Зона» включал в себя значения, полученные для электродов, сгруппированных по 3 зонам: фронтальная - F7, F3, Fz, F4, F8; центральная – T3, C3, Cz, C4, T4; париетальная – T5, P3, Pz, P4, T6. После проведения дисперсионного анализа применялась поправка Гринхауса-Гейсера и поправка Бонферони.

Глава 3. Результаты собственных исследований и их обсуждение

3.1. Исследование влияния исходных параметров вегетативной регуляции на результат прослушивания музыкальных произведений (результаты и обсуждение 1 экспериментальной серии)

На первом этапе исследования нужно было ответить на вопрос: влияет ли (и если влияет, то каким образом) исходное функциональное состояние испытуемых на эффекты, вызываемые прослушиванием эрготропной или трофотропной музыки.

Для испытуемых, прослушавших эрготропное музыкальное произведение, в ходе анализа были получены следующие результаты (табл. 3). Были выявлены достоверные различия ($p \leq 0.05$) между параметрами «настроения» по методике САН до и после прослушивания музыкального фрагмента. У испытуемых с исходной ваготонией данные различия оказались выражены в большей степени ($p \leq 0.05$). Показано достоверное различие ($p \leq 0.05$) параметра «настроение» у ваготоников, сменивших тип вегетативной регуляции, и ваготоников, сохранивших его после прослушивания. Также были показаны достоверные различия ($p \leq 0.05$) параметров исходного самочувствия для испытуемых с исходной симпатотонией и ваготонией.

Анализ variability сердечного ритма испытуемых, прослушавших эрготропное музыкальное произведение, показал следующее. Были выявлены достоверные различия ($p \leq 0.05$) устойчивости изменения типа вегетативной регуляции после прослушивания музыки (Рис 3).

Таблица 3

Долевое распределение оценок «самочувствия», «активности» и «настроения» по методике САН для испытуемых прослушавших эрготропное музыкальное произведения. Звездочкой обозначен статистически значимый прирост показателя.

Показатели методики САН	До прослушивания			После прослушивания		
	Низкий	Средний	Высокий	Низкий	Средний	Высокий
Самочувствие	31%	46%	23%	16%	16%	68%*
Активность	23%	23%	54%	16%	38%	46%
Настроение	16%	38%	46%	0%	15%	75%*

Долевая диаграмма устойчивости типа вегетативной регуляции (ряд А – ваготоники, ряд Б – симпатоники).

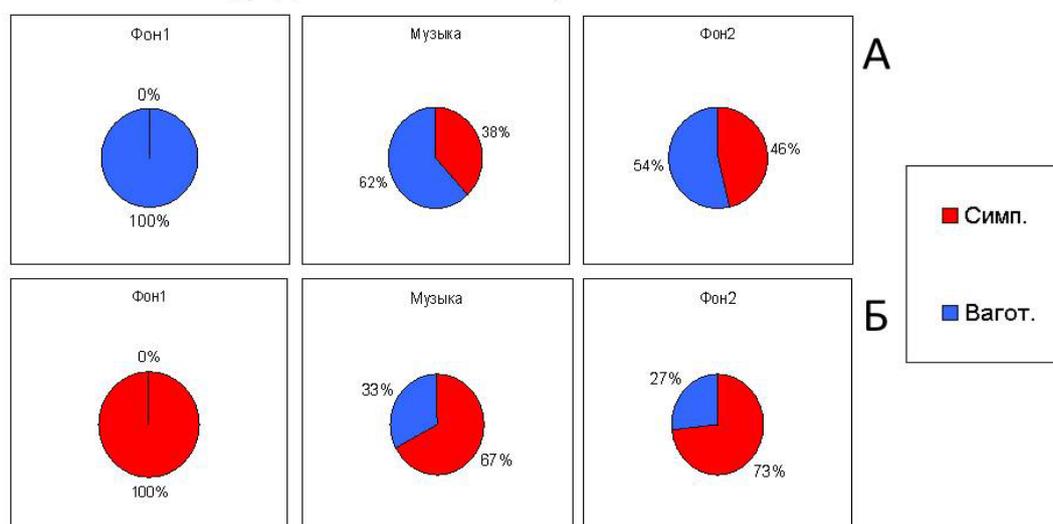


Рис. 3. Долевая диаграмма устойчивости типа вегетативной регуляции при прослушивании эрготропного музыкального произведения. Для испытуемых с исходной ваготонией изменения типа вегетативной регуляции более устойчивы.

Под устойчивостью в данном случае подразумевается доля испытуемых, сохранивших исходный тип вегетативной регуляции после прослушивания. Показано, что для испытуемых с исходной ваготонией изменения типа вегетативной регуляции во время и после прослушивания более устойчивы. Необходимо отметить, что исходный тип вегетативной регуляции значительно влияет на динамику VLF диапазона частот. Так, у 58% симпатотоников происходит увеличение мощности данного диапазона, в то время как у 76% ваготоников наблюдается его уменьшение. Нами была обнаружена тесная взаимосвязь ($r=0.90$ для симпатотоников, $r=0.83$ для ваготоников) между исходным уровнем мощности VLF диапазона и его приростом после прослушивания эрготропного музыкального фрагмента. Данный факт позволяет высказать предположение, что музыка воздействует на человека, в том числе, и через включение механизмов гуморальной регуляции. Но поскольку длительность анализируемых записей R-R интервалов, использовавшихся для анализа, не превышала 180 секунд (что не позволяет корректно рассчитать мощность VLF диапазона), данное предположение требует дальнейшего исследования с адекватным временем регистрации. В группах симпатотоников и ваготоников было выявлено достоверное различие в исходной структуре спектра variability между подгруппами с инверсией типа регуляции и подгруппами, сохранившими исходный тип вегетативной регуляции. Для симпатотоников отмечаются достоверные различия VLF и HF диапазонов ($p \leq 0.01$ и $p \leq 0.05$, соответственно): для подгруппы с инверсией характерно доминирование HF диапазона и меньший вклад в общую структуру спектра VLF диапазона (Рис. 4). Для ваготоников же характерно преобладание HF диапазона для группы, сохранившей исходный тип вегетативной регуляции, и более высокая доля VLF диапазона у испытуемых с инверсией типа вегетативной регуляции (Рис.5).

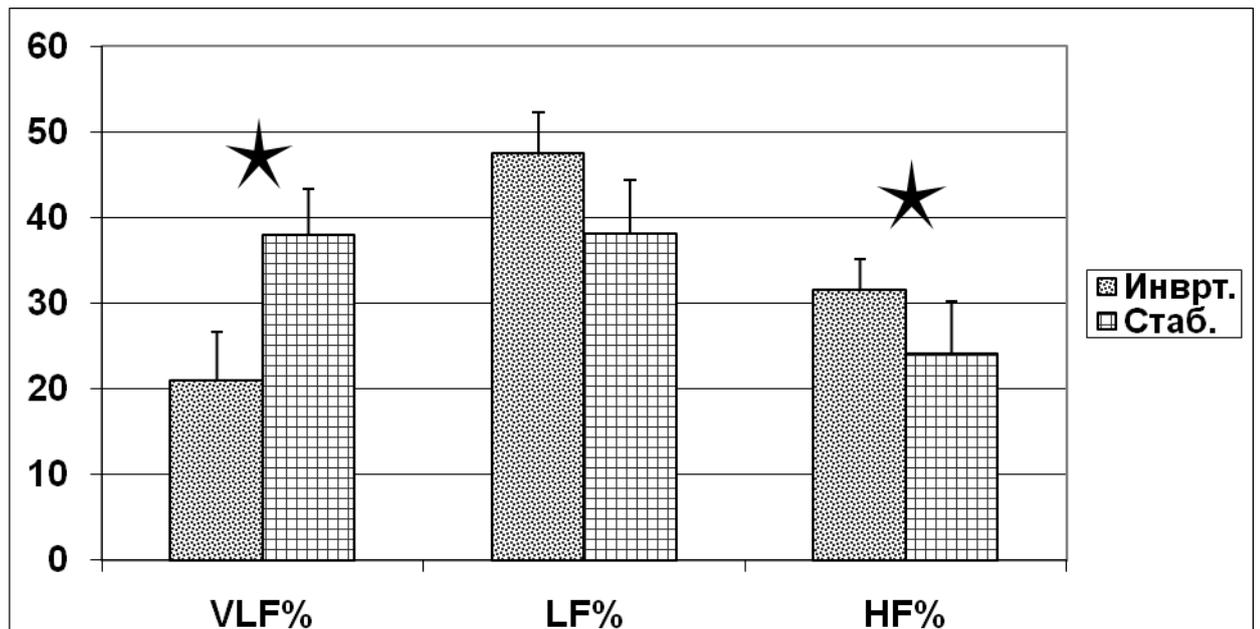


Рис. 4. Влияние исходного состояния симпатотоников на характер вегетативной реакции при прослушивании эрготропного музыкального произведения. Звёздочками здесь и далее обозначены достоверные различия.

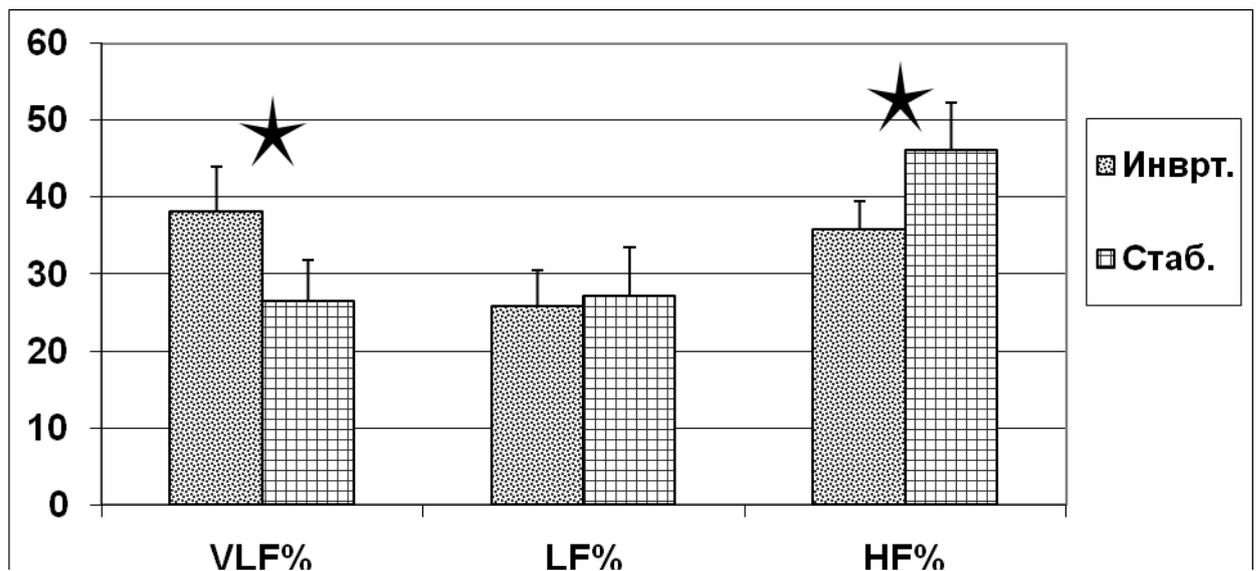


Рис. 5. Влияние исходного состояния ваготоников на характер вегетативной реакции при прослушивании эрготропного музыкального произведения.

Для выборок ваготоников и симпатотоников, прослушавших трофотропное музыкальное произведение, отмечается положительная динамика параметров по методике САН. Для выборки симпатотоников,

прослушавших тропотропное музыкальное произведение, характерна меньшая устойчивость типа вегетативной регуляции

Сравнение показателей вегетативной регуляции экспериментальной и контрольной групп испытуемых с исходной ваготонией выявило различия в долевого распределении HF компонента во время ($p \leq 0,01$) и после ($p \leq 0,05$) экспериментального воздействия. Это позволяет предположить, что динамика долевого вклада этого компонента для испытуемых с исходным парасимпатическим типом вегетативной регуляции зависит от процедуры воздействия (ожидание прослушивания, прослушивание музыкального произведения).

Обсуждая полученные результаты, можно отметить следующее. Анализ показателей методики САН выявил наличие значимых изменений исходных параметров «самочувствия» и «настроения» только для экспериментальной группы ваготоников, прослушавших эрготропное музыкальное произведение. Для испытуемых с исходным симпатическим типом вегетативной регуляции, испытуемых, прослушавших тропотропное музыкальное произведение, и испытуемых, получивших установку на прослушивание, не отмечено значимых изменений. Это может быть связано с наличием более высокого исходного уровня показателей САН у этих испытуемых. Это позволяет предположить, что для достижения высоких значений показателей по методике САН необходима умеренная симпатическая активация. Отсутствие изменений параметров методики САН в контрольных группах, можно трактовать как подтверждение специфического влияния эрготропного музыкального произведения на положительную динамику субъективной оценки своего психологического состояния испытуемыми.

Достоверные различия устойчивости инверсии типа вегетативной регуляции после прослушивания эрготропного музыкального произведения и преобладание испытуемых с инверсией в выборке с исходным

парасимпатическим типом вегетативной регуляции могут быть связаны как с общим активирующим влиянием музыкального произведения, так и с тем, что испытуемые с симпатическим типом вегетативной регуляции менее подвержены влиянию экзогенных факторов (Полевая, 2008).

Выявленные различия в исходной структуре спектра ВСР у испытуемых с инверсией типа вегетативной регуляции и сохранивших его после прослушивания, позволяют предположить, что исходная структура спектра ВСР может выступать в качестве параметра, определяющего ее динамику во время прослушивания музыки. Схожие результаты были получены при исследовании влияния эмоциональных раздражителей на когнитивные процессы (Kryptos et al., 2011). Было показано, что в зависимости от исходных показателей variability сердечного ритма наблюдаются различия в реакциях на эмоциональные раздражители (изображения негативной и позитивной валентности); авторы работы объясняют данные результаты различиями в структуре связей между эмоциональными и когнитивными модулями. Косвенным подтверждением этого объяснения можно считать результаты, полученные Nugent с соавторами (Nugent et al., 2011), где было показано, что у больных с депрессивными расстройствами отсутствует смена режима вегетативной регуляции при когнитивных нагрузках. Достоверное снижение показателей HF диапазона и повышение долевого вклада LF и VLF диапазонов у испытуемых с исходной ваготонией, прослушавших эрготропное музыкальное произведение, а также достоверные различия показателей ВСР экспериментальной и контрольной групп с инверсией типа вегетативной регуляции позволяют предположить, что реакция испытуемых на прослушивание связана с центральными и гуморальными механизмами регуляции сердечного ритма (Котельников и др., 2002). На это также косвенно указывают связи между исходной мощностью VLF диапазона и его приростом после прослушивания эрготропной музыки и отсутствие подобных связей для контрольной группы испытуемых. Можно

предположить, что данный феномен связан именно с прослушиванием конкретного музыкального произведения Рихарда Вагнера.

Следует также отметить большую вероятность инверсии типа вегетативной регуляции у испытуемых, чьи значения коэффициентов симпатико-парасимпатического баланса ближе к показателям нормотонии (около 1,0). Можно предположить, что равновесие активности симпатической и парасимпатической нервной системы способствует лучшей переключаемости между ними, нежели жесткое доминирование одной из этих систем.

В заключение можно отметить, что прослушивание музыки, в зависимости от совокупности средств музыкальной выразительности и исходного состояния вегетативной нервной системы, может оказывать широкий спектр изменений, как на субъективное состояние, так и на объективное функциональное состояние испытуемых. Однако возникает вопрос, с чем может быть связан столь широкий диапазон физиологических и психологических реакций? Анализируя составные элементы музыки, мы выбрали в качестве дальнейшего объекта исследования тональную модуляцию как ключевой и составной элемент мелодии в музыке. Поскольку сама модуляция, как правило, приходится на 1 или несколько аккордов, мы решили для дальнейших экспериментов использовать метод регистрации электроэнцефалограммы, как метод с наилучшим временным разрешением, позволяющий неинвазивно исследовать активность нервной системы.

3.2. Исследование влияния ладового условия и расстояния тональной модуляции на спектральные показатели ЭЭГ (результаты и обсуждение 2 экспериментальной серии)

В этом разделе представлены результаты 2 экспериментальной серии, в которой проводилось исследование влияния тональной модуляции с учетом фактора ладового условия и расстояния тональной модуляции на функциональное состояние мозга при помощи метода регистрации электроэнцефалограммы и последующего спектрального анализа записей в основных диапазонах частот.

При сравнении относительных значений мощностей мажорных (ММ) и минорных (мм) ладовых условий с фоном до стимуляции и с фоном после стимуляции были получены следующие результаты (таблица 4).

Для мажорных ладовых условий (ММ) при прослушивании музыкальных фраз по сравнению с фоном до прослушивания отмечается более высокий уровень мощностей в альфа диапазоне и более низкий уровень в бета1 и бета2 диапазонах, по сравнению с фоном после прослушивания отмечается более низкий уровень мощностей в тета и бета2 диапазонах и более высокий в альфа и бета1 диапазонах частот. Сравнение фоновых записей до начала прослушивания с фоновыми записями после прослушивания стимулов с мажорным ладовым условием показало более высокий уровень мощностей в альфа диапазоне и более низкий уровень мощностей в тета и бета2 диапазонах для фона до прослушивания стимула.

Для минорных ладовых условий (мм) при прослушивании музыкальных фраз по сравнению с фоном до прослушивания отмечается более низкий уровень мощностей в бета1 диапазоне, тогда как по сравнению с фоном после прослушивания отмечается более низкий уровень мощностей в тета, бета1 и бета2 диапазонах и более высокий в альфа. Сравнение фоновых записей до начала прослушивания с фоновыми записями после

прослушивания стимулов с минорным ладовым условием показало более высокий уровень мощностей в альфа диапазоне и более низкий уровень мощностей в тета, бета1 и бета2 диапазонах для фона до прослушивания стимула.

Результаты сравнения относительных значений мощностей переходных (Мм и mM) ладовых условий с фоном до стимуляции и с фоном после стимуляции показаны ниже (таблица 5).

Для ладовых условий из мажора в минор (Мм) при прослушивании музыкальных фраз по сравнению с фоном до прослушивания отмечается более высокий уровень мощностей в альфа диапазоне и более низкий уровень в бета1 и бета2 диапазонах, по сравнению же с фоном после прослушивания отмечается более низкий уровень мощностей в тета, бета1 и бета2 диапазонах и более высокий в альфа диапазоне частот. Сравнение фоновых записей до начала прослушивания с фоновыми записями после прослушивания стимулов показало более высокий уровень мощностей в альфа и бета1 диапазонах и более низкий уровень мощностей в тета и бета2 диапазонах для фона до прослушивания стимула.

Для ладовых условий из минора в мажор (mM) при прослушивании музыкальных фраз по сравнению с фоном до прослушивания отмечается более низкий уровень мощностей в бета1 и бета2 диапазоне и более высокий в тета, а по сравнению с фоном после прослушивания отмечается более низкий уровень мощностей в тета, бета1 и бета2 диапазонах и более высокий в альфа диапазоне. Сравнение фоновых записей до начала прослушивания с фоновыми записями после прослушивания стимулов с минорным ладовым условием показало более высокий уровень мощностей в альфа диапазоне и более низкий уровень мощностей в тета, бета1 и бета2 диапазонах для фона до прослушивания стимула.

Таблица 4.

Относительные значения мощностей ритмов ЭЭГ для мажорных (ММ) и минорных (мм) ладовых условий до, во время и после прослушивания стимулов. Цифрами обозначены достоверные отличия ($p < 0,05$ по критерию Вилкоксона) в сравнении: 1 - с фоном до прослушивания; 2 - с фоном после прослушивания.

Эксперимен- тальный контекст	Ритмы ЭЭГ %							
	ММ ладовое условие				мм ладовое условие			
	Тета	Альфа	Бета 1	Бета 2	Тета	Альфа	Бета 1	Бета 2
Фон до прослушивания	$19,9^{2\pm}11,7$	$44,3^{2\pm}21,4$	$23,7^{2\pm}11,1$	$11,9^{2\pm}9,7$	$19,7^{2\pm}11,8$	$45,1^{2\pm}21,9$	$23,4^{2\pm}11,6$	$11,6^{2\pm}9,3$
Во время прослушивания	$19,6^{1,2\pm}10,6$	$47,8^{1,2\pm}21,8$	$21,7^{1,2\pm}10,9$	$10,6^{1,2\pm}9,1$	$20,4^{2\pm}11,2$	$46,2^{2\pm}22$	$22,1^{1,2\pm}11,3$	$11,1^{2\pm}9,7$
Фон после прослушивания	$36,6\pm 10,7$	$23,4\pm 9,0$	$23,7\pm 6,8$	$16,1\pm 9,3$	$36,1\pm 10,6$	$23,7\pm 8,6$	$24,2\pm 6,9$	$15,8\pm 8,4$

Таблица 5

Относительные значения мощностей ритмов ЭЭГ для переходных (Мм и Мм) ладовых условий до, во время и после прослушивания стимулов. Цифрами обозначены достоверные отличия ($p < 0,05$ по критерию Вилкоксона) в сравнении: 1 - с фоном до прослушивания; 2 – с фоном после прослушивания.

Экспериментальный контекст	Ритмы ЭЭГ %							
	Мм ладовое условие				мМ ладовое условие			
	Тета	Альфа	Бета 1	Бета 2	Тета	Альфа	Бета 1	Бета 2
Фон до прослушивания	19,4 ² ±11,4	44,8 ² ±21,2	23,6 ±10,7	12 ² ±10,0	19,4 ² ±11,5	44,9 ² ±22,2	23,2 ² ±11,3	12,3 ² ±10,4
Во время прослушивания	19,6 ² ±10,4	47,9 ^{1,2} ±21,8	21,5 ^{1,2} ±10,6	10,8 ^{1,2} ±9,5	20,5 ^{1,2} ±11	46,4 ² ±21,5	22,1 ^{1,2} ±11,0	10,9 ^{1,2} ±9,6
Фон после прослушивания	37,1 ¹ ±10,4	23,4 ¹ ±8,1	23,7 ¹ ±6,8	15,6 ¹ ±8,6	37,0 ¹ ±11,0	22,8 ¹ ±8,1	24,2 ¹ ±6,8	15,8 ¹ ±8,6

При сравнении относительных значений мощностей для стимулов с мажорными (ММ) и минорными (мм) ладовыми условиями при близких и дальних модуляциях были выявлены следующие отличия. При близких модуляциях был выявлен достоверно более низкий уровень мощности в бета2 диапазоне для стимулов с минорными ладовыми условиями (рис. 6). При дальних модуляциях отмечен достоверно более высокий уровень тета активности и достоверно более низкий уровень альфа активности для стимулов с минорными ладовыми условиями (Рис. 6).

Аналогичное сравнение мощностей ЭЭГ при прослушивании стимулов переходных ладовых условий (Мм и mM) дало следующие результаты. При стимулах с близкими модуляциями не было выявлено достоверных различий в относительных мощностях ЭЭГ. При стимулах с дальними модуляциями выявлен достоверно более высокий уровень тета активности и достоверно более низкий уровень альфа активности для стимулов с начальными минорными ладовыми условиями (Рис. 7).

Было проведено сравнение относительных усредненных мощностей для группировки стимулов по начальной тональности. Отмечен больший уровень мощности в альфа диапазоне и меньший уровень в бета1 и тета диапазоне для последовательностей с начальной мажорной тональностью (рис. 8). Аналогичное сравнение мощностей для начальных мажорных и минорных тональностей было проведено для каждого из отведений. Был выявлен больший уровень мощности в альфа диапазоне для отведений С4-А2, С3-А1, Т4-А2 и Т3-А1 (рис. 9).

Прослушивание музыкальных фрагментов, независимо от ладового условия, вызывало снижение мощности ЭЭГ в диапазонах частот бета1 и бета2 и повышение мощности в альфа диапазоне, что может свидетельствовать об усилении синхронизации биопотенциалов коры на частоте альфа ритма. Этот феномен может быть связан с возникновением событийно-связанной синхронизации (event-related synchronization) в процессе прослушивания. По литературным данным (Klimesch et al., 2007;

Bazanovа, Vernon, 2014; Базанова, 2009), этот феномен связывают с тормозным нисходящим (top-down) контролем, за счет чего происходит торможение незадействованных для обработки текущей информации областей коры, что способствует более эффективной обработке текущего сигнала. Отмечено, что событийно-связанная синхронизация наблюдается в задачах, задействующих рабочую память, при этом наблюдается увеличение мощности в альфа диапазоне в процессе удержания в памяти целевых стимулов (Jansen et al., 2003). Это явление может объяснять терапевтический эффект от прослушивания музыки, связанный с торможением незадействованных областей коры во время прослушивания.

При дальнем расстоянии модуляции мажорные ладовые условия в большей степени способствуют синхронизации коры на частоте альфа ритма, в то время как при близких модуляциях подобного эффекта не наблюдается. Сходные результаты были получены для мажорной тональности (Lin et al., 2014), причём авторы отмечают снижение тета активности в области верхней теменной коры и снижение бета активности в медиальной лобной коре.

Результаты, полученные при сравнении эффектов от прослушивания фрагментов с начальным минорным и мажорным ладовым условием, выявили повышенный уровень синхронизации на частоте альфа ритма в височных и центральных отведениях. Можно отметить, что мажорное или минорное ладовое условия, как правило, характеризуют эмоциональную составляющую музыки (Peretz et al., 1998). Обнаружено, что при прослушивании минорных мелодий наблюдается большая, по сравнению с мажорными, активация структур лимбической системы, а именно парагиппокампальной извилины, билатеральной вентральной передней поясной извилины и левой префронтальной коры (Green et al., 2008).

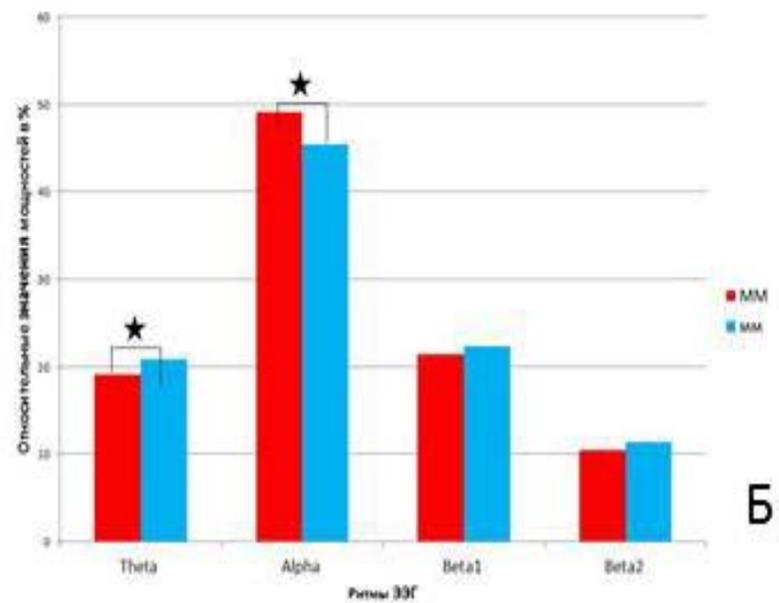
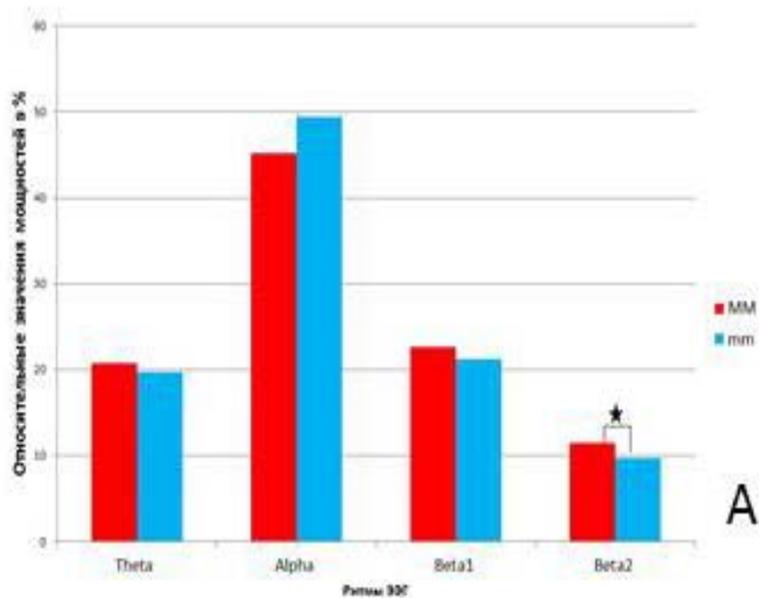


Рис. 6. Относительные значения мощностей ЭЭГ для последовательностей, содержащих мажорные (MM) и минорные (mm) ладовых условий при близких (А) и дальних (Б) модуляциях. Здесь и далее звездочками обозначены достоверные различия ($p \leq 0,05$ по W-критерию Вилкоксона).

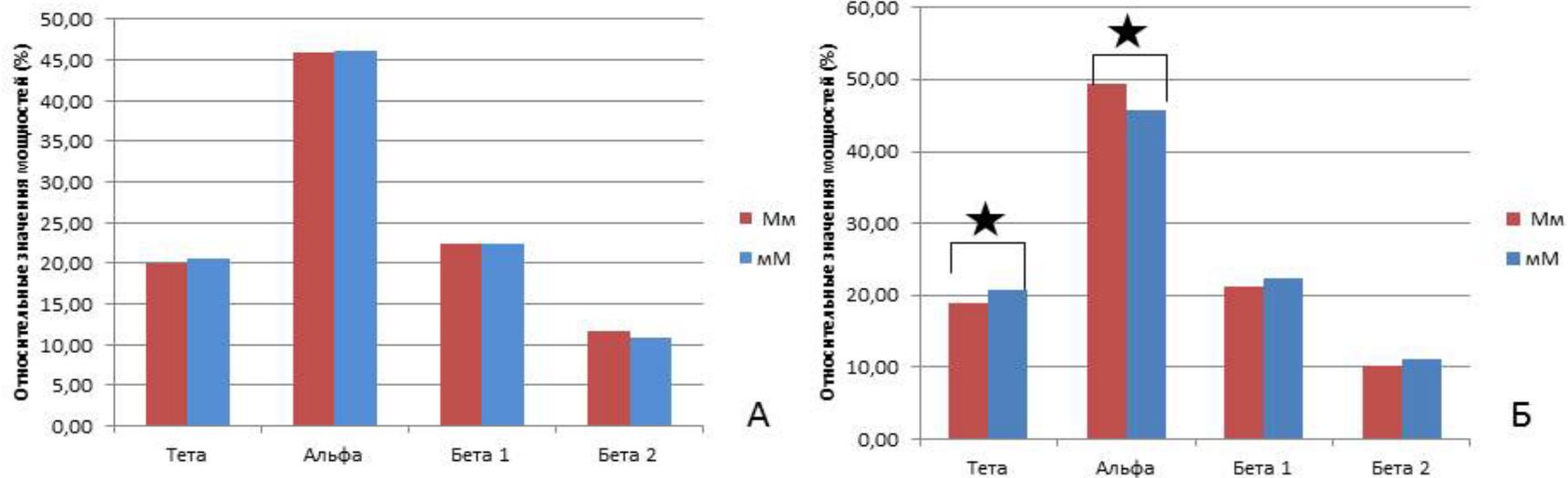


Рис. 7. Гистограмма относительных значений мощностей ЭЭГ при прослушивании гармонических последовательностей с переходными ладовыми условиями из мажора в минор (Мм) и из минора в мажор (мМ) при близких (А) и дальних (Б) тональных модуляциях.

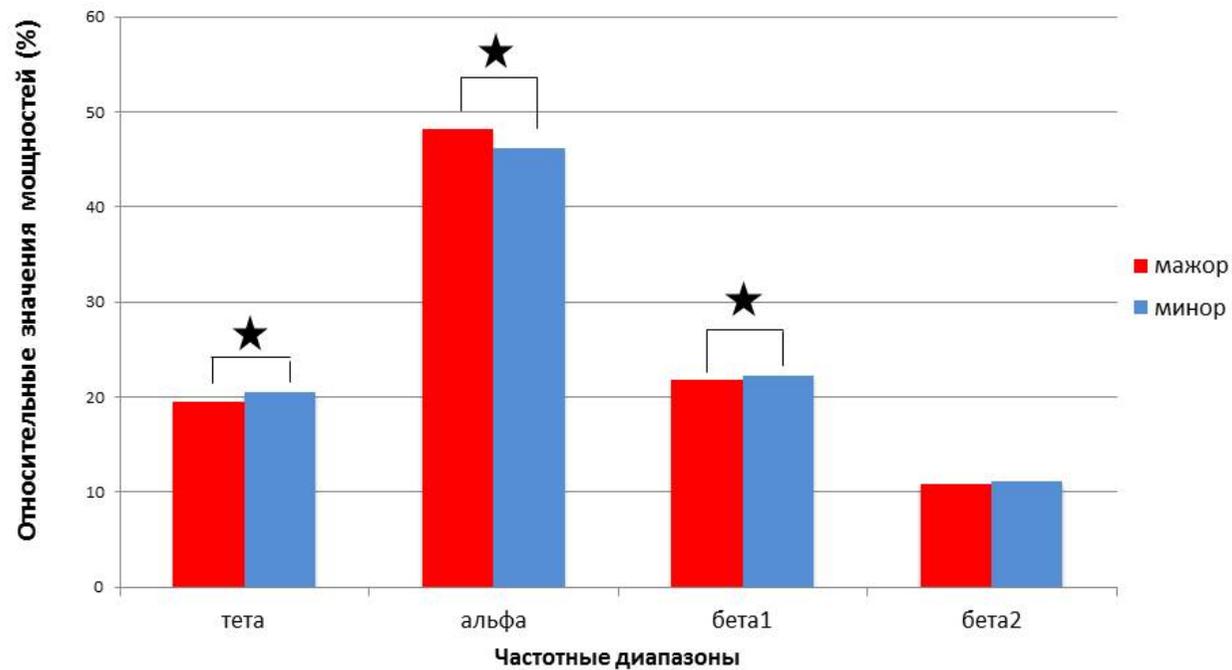


Рис. 8. Гистограмма относительных значений мощностей ЭЭГ при прослушивании гармонических последовательностей с начальным минорным и мажорным ладовым условием.

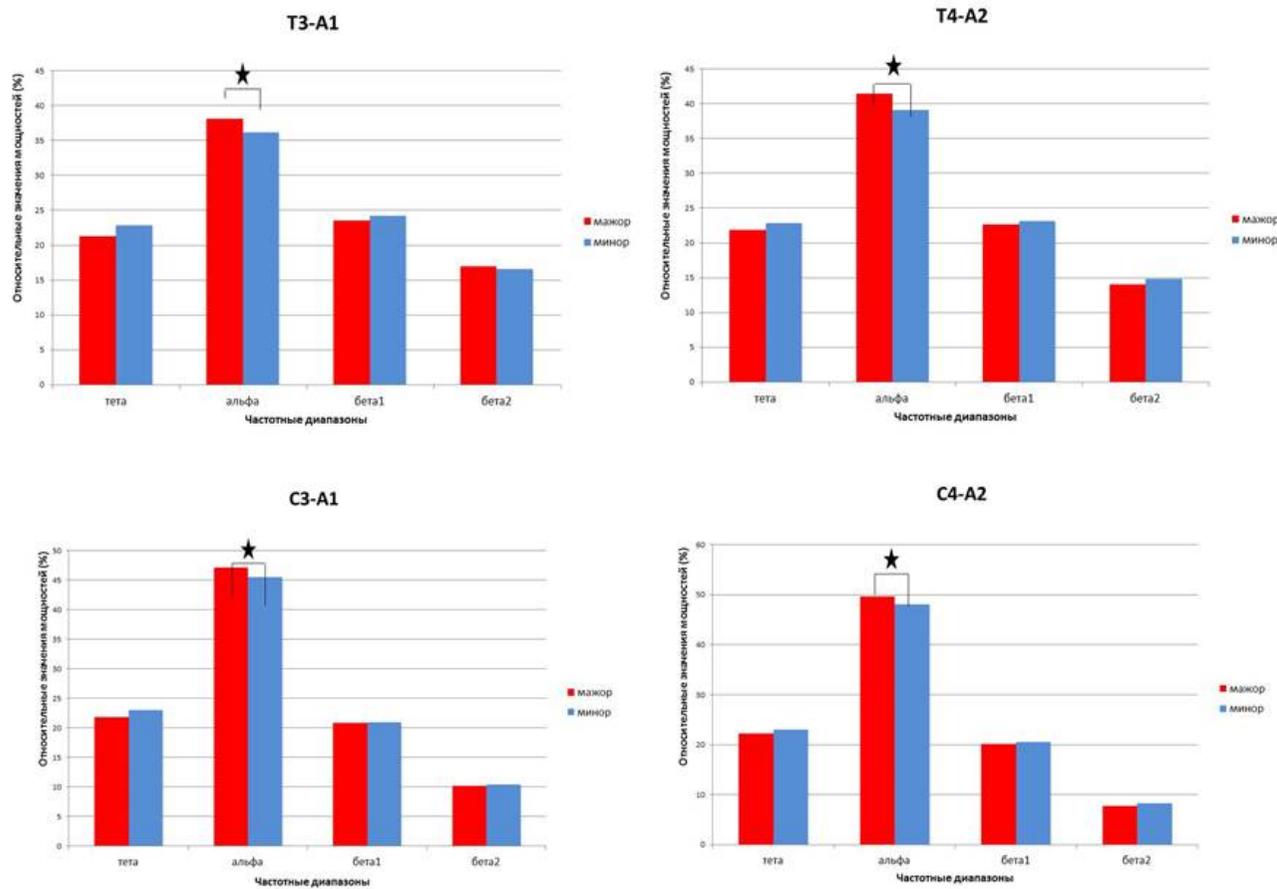


Рис. 9. Гистограммы относительных значений мощностей ЭЭГ при прослушивании гармонических последовательностей с начальным минорным и мажорным ладовым условием для височных (Т3-А1 и Т4-А2) и центральных отведений (С3-А1 и С4-А2).

Эти результаты могут объяснить больший уровень мощности в тета диапазоне при прослушивании фрагментов с начальной минорной тональностью, поскольку тета диапазон связывают с таламо-кортикальным взаимодействием и с кодированием и хранением новой эпизодической информации (Klimesch et al., 2001; Tóth et al., 2012). Достоверно меньшая мощность в альфа диапазоне и большая мощность в тета диапазоне для фрагментов с начальным минорным ладовым условием позволяют предположить, что первичная сенсорная обработка данных элементов затрачивает больше ресурсов коры. При этом важно отметить, что расстояние тональной модуляции влияет на выраженность этого эффекта, поскольку при близких модуляциях разница в исследуемых частотных диапазонах ЭЭГ между минорным и мажорным ладовым условием незначительна.

3.3. Исследование влияния тональной модуляции на спектральные показатели ЭЭГ при прослушивании гармонических последовательностей и фрагментов классических музыкальных произведений (результаты и обсуждение 3 экспериментальной серии)

В данном разделе приводятся результаты 3 экспериментальной серии, основной задачей которой было сравнение эффектов искусственно сконструированных гармонических последовательностей включающих модуляции, с эффектами аналогичных модуляций, но уже из фрагментов классических музыкальных произведений.

Прослушивание как искусственно сконструированных гармонических последовательностей, так и отрывков из музыкальных произведений увеличивало показатели мощности спектра ЭЭГ в альфа и уменьшало в бета2 диапазонах по сравнению с 10 секундным фоном до прослушивания.

Попарное сравнение искусственно сконструированных гармонических последовательностей с модуляцией в субдоминанту, доминанту и сексту во время прослушивания не выявило значимых различий ни в одном из контекстов сравнения. Но аналогичное сравнение отрывков из музыкальных произведений выявило достоверные различия при модуляции в доминанту по сравнению с модуляциями в субдоминанту и сексту. Отрывки с переориентацией в доминанту приводили к меньшему увеличению мощности в альфа диапазоне по сравнению с субдоминантой и секстой, а также к большему увеличению мощности в бета2 диапазоне по сравнению субдоминантой (Рис. 10).

При сравнении средних значений мощностей для левого и правого полушария во время прослушивания отрывков из музыкальных произведений выявлены достоверные различия для модуляции в доминанту. При модуляции в доминанту отмечены достоверные отличия в тета, альфа и бета2 диапазонах по сравнению с субдоминантой. Для доминанты отмечены также достоверные отличия в альфа и бета1 диапазонах по сравнению с секстой. И

в правом, и в левом полушариях прослушивание модуляций в доминанту имело меньший прирост мощности в альфа диапазоне и больший - в бета1 диапазоне по сравнению с субдоминантой и секстой (Рис. 11).

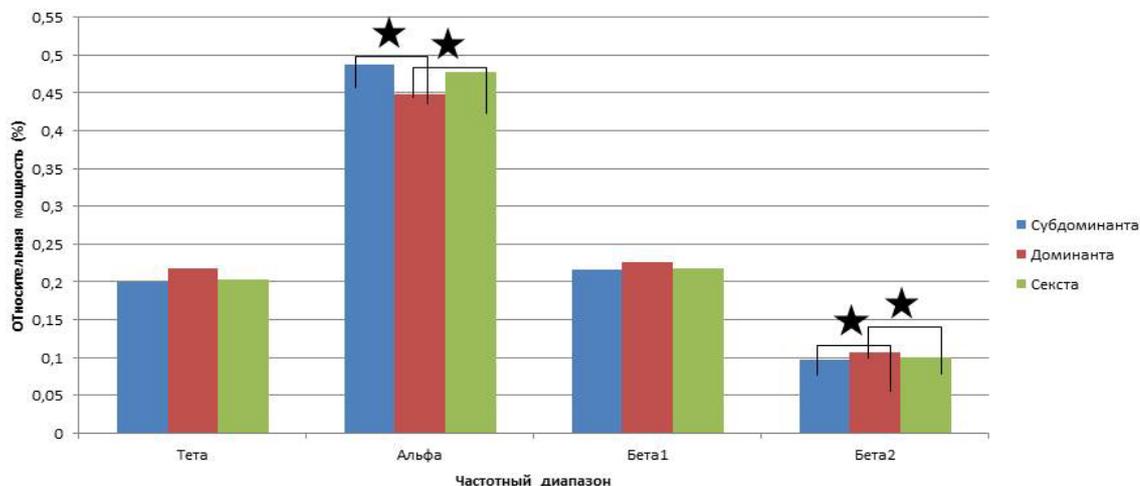


Рис. 10. Гистограмма относительных значения мощностей ЭЭГ при прослушивании отрывков музыкальных произведений с модуляцией в доминанту, субдоминанту и сексту. Здесь и далее звездочками отмечены достоверные различия по W-критерию Уилкоксона ($p \leq 0,05$).

Попарное сравнение мощностей спектра ЭЭГ для ступеней модуляции в каждом отведении во время прослушивания отрывков музыкальных произведений выявило значимые отличия для фрагментов с модуляцией в доминанту. Для доминанты по сравнению с остальными степенями отмечается меньший прирост мощности альфа диапазона в височных и теменных отведениях и больший прирост мощности в тета диапазоне в теменных отведениях (Рис. 12). В центральных отведениях достоверных различий не выявлено.

В то же время, при попарном сравнении ступеней модуляции во время прослушивания между гармоническими последовательностями и фрагментами из музыкальных произведений не было выявлено значимых различий в спектральных характеристиках ЭЭГ.

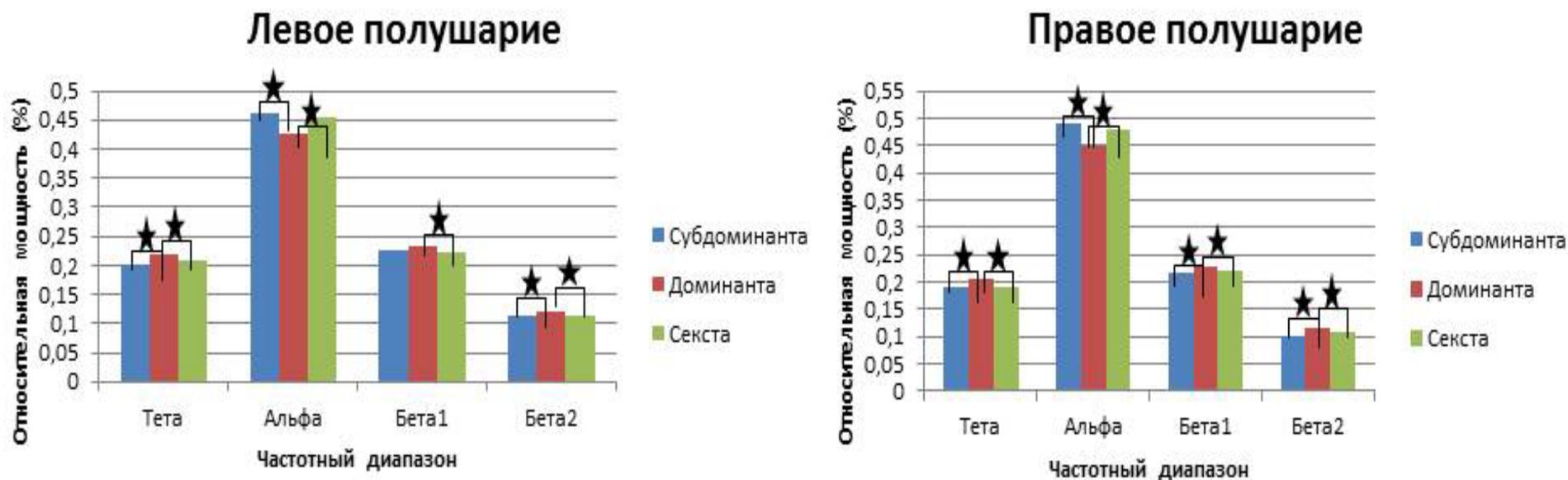


Рис. 11. Гистограмма относительных значения мощностей ЭЭГ при прослушивании отрывков музыкальных произведений с модуляцией в доминанту, субдоминанту и сексту в левом полушарии и в правом полушарии.

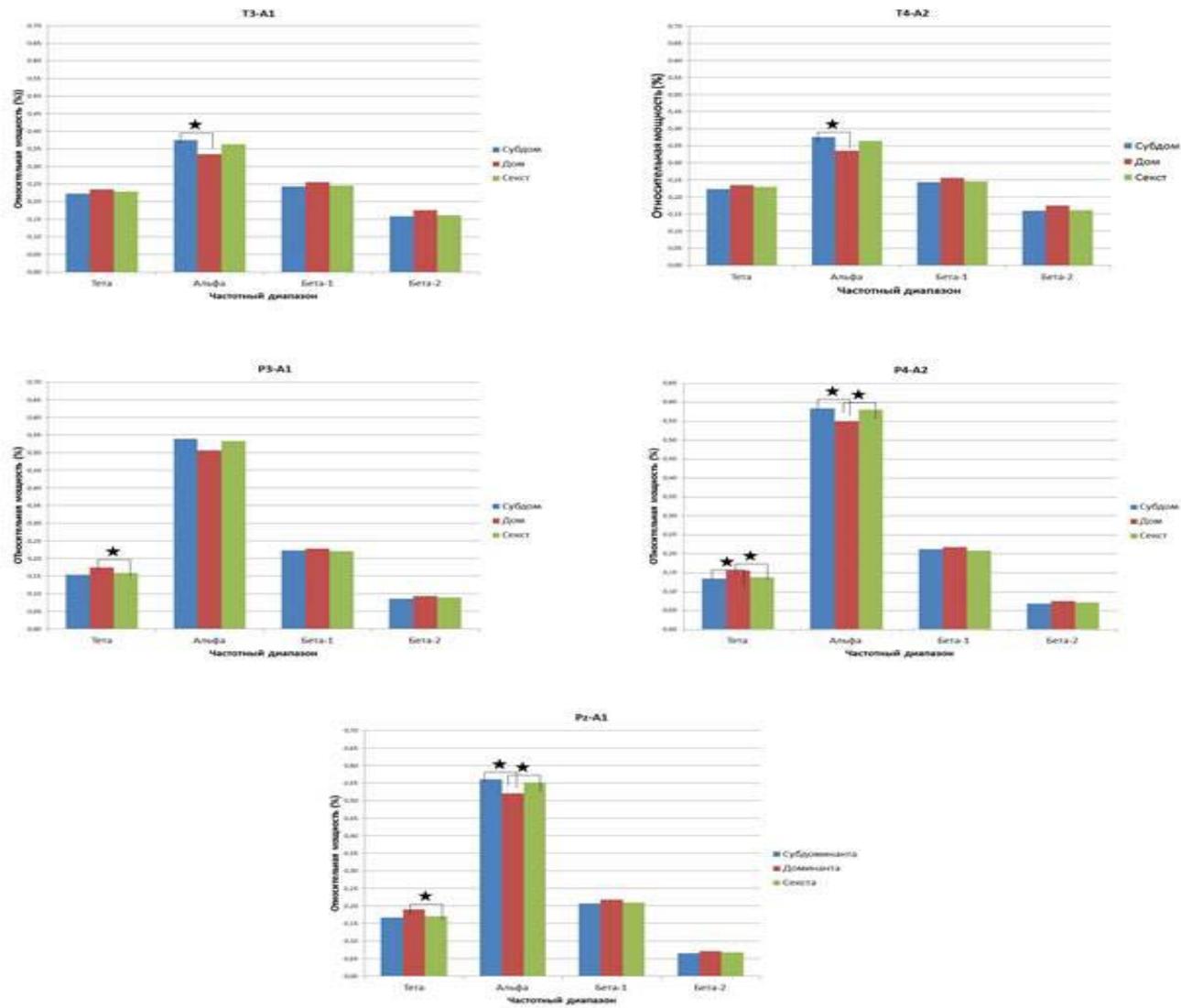


Рис. 12. Гистограмма относительных значений мощностей ЭЭГ при прослушивании отрывков музыкальных произведений с модуляцией в доминанту, субдоминанту и сексту для височных (Т3-А1 и Т4-А2) и теменных отведений (Р3-А1, Р4-А2, Рz-А1).

В сравнении спектральных характеристик ЭЭГ до прослушивания отрывков из музыкальных произведений и гармонических последовательностей (без учета фактора ступени переориентации) отмечаются достоверные различия в тета и альфа диапазонах. Для гармонических последовательностей отмечается меньший уровень мощности в тета диапазоне и больший уровень мощности в альфа диапазоне. Этот результат может быть связан с тем, что серия с прослушиванием фрагментов из музыкальных произведений проводилась после серии с прослушиванием гармонических последовательностей.

После прослушивания отрывков из музыкальных произведений и гармонических последовательностей (без учета фактора ступени переориентации) при сравнении спектральных характеристик ЭЭГ отмечаются достоверные различия в тета и альфа диапазонах (Рис. 13). Для гармонических последовательностей отмечается меньший уровень мощности в альфа диапазоне и больший уровень мощности в тета диапазоне.

Таким образом, прослушивание как искусственно сконструированных гармонических последовательностей, так и отрывков из музыкальных произведений приводит к увеличению мощности альфа ритма и снижению бета₂ ритма, свидетельствуя об усилении синхронизации биопотенциалов коры на частотах альфа диапазона. Этот результат можно трактовать как возникновение событийно-связанной синхронизации (event-related synchronization) в процессе прослушивания. Данный феномен связывают с тормозным нисходящим (“top-down”) контролем, который, по мнению некоторых авторов, ингибирует незадействованные для текущей обработки области коры, способствуя тем самым более эффективной обработке текущего сигнала (Klimesch et al. 2007). Перечисленные авторы связывают альфа синхронизацию главным образом с сознательным контролем внимания, предполагая, что в случае удержания внимания за счет торможения областей коры, не задействованных в обработке текущего сигнала, обеспечивается более эффективная обработка информации.

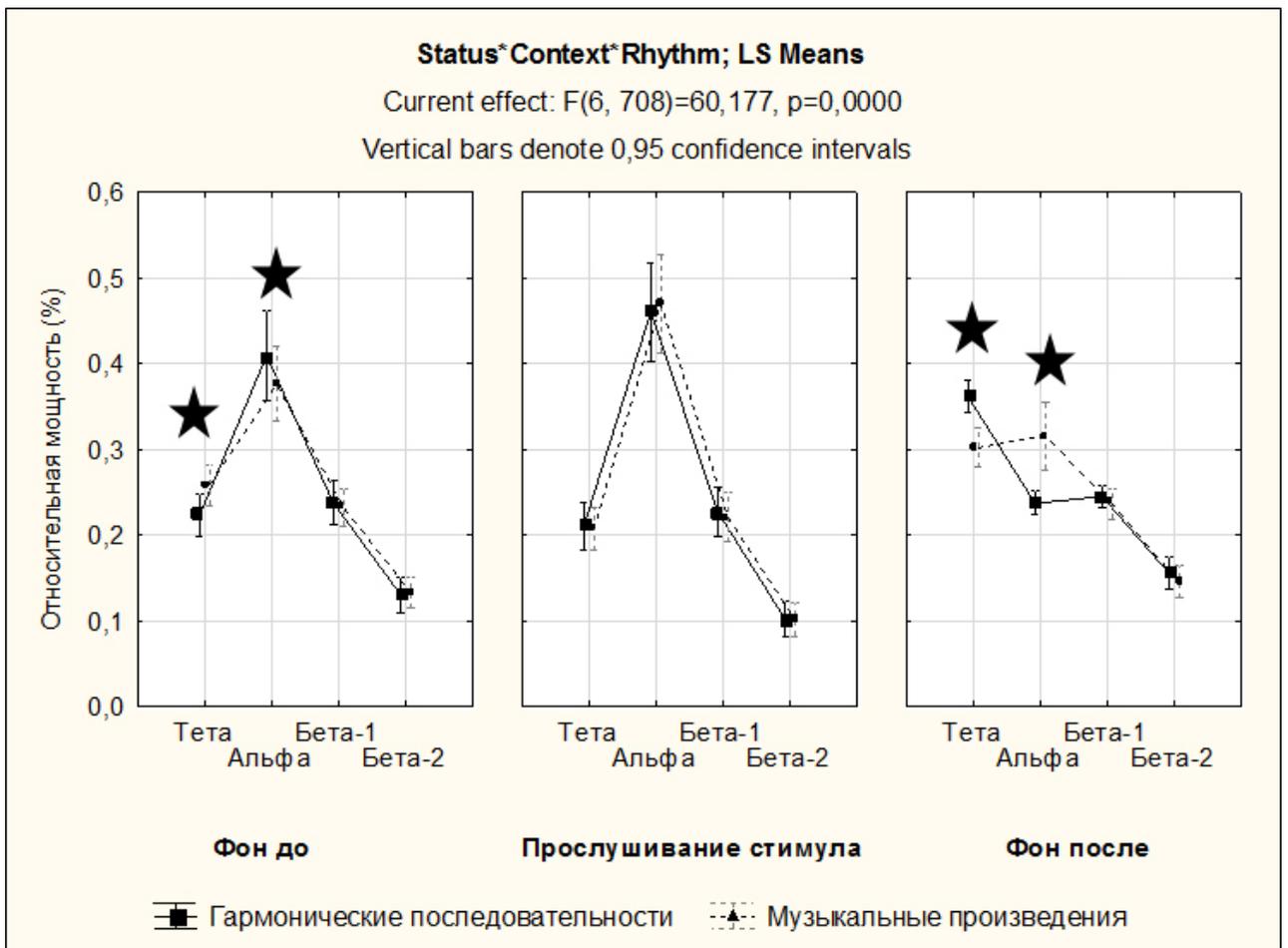


Рис. 13 Динамика относительных значений мощностей ЭЭГ до, во время и после прослушивания гармонических последовательностей и отрывков музыкальных произведений.

Замечено, что событийно-связанная синхронизация наблюдается во время задач, использующих рабочую память, при этом показано, что мощность в альфа диапазоне увеличивается в процессе запоминания и удержания в памяти целевых стимулов (Jansen et al., 2003). С этих позиций можно связать терапевтический эффект от прослушивания музыки, наблюдаемый при коррекции различных патологических состояний (Koelsch, 2009; Lin et al., 2014), с синхронизацией корковых структур для обработки целевого сигнала и торможением незадействованных областей коры.

Необходимо отметить, что в нашем эксперименте при индивидуальном анализе ЭЭГ у трех испытуемых наблюдалась обратная реакция – значимое снижение мощности в альфа диапазоне при прослушивании стимулов. Анализируя исходный 3-минутный фон этих

испытуемых, мы обнаружили у них сниженную мощность в альфа диапазоне и повышенную мощность в бета1 и бета2 диапазонах, что свидетельствует о более высоком исходном уровне активации коры. Можно предположить, что данный эффект связан со сниженным уровнем концентрации внимания у этих трех испытуемых.

При сравнении спектральных характеристик ЭЭГ во время прослушивания гармонических последовательностей с переориентацией гаммы в субдоминанту, доминанту и сексту значимых различий выявлено не было. Однако при сравнении спектральных характеристик ЭЭГ во время предъявления отрывков из музыкальных произведений было обнаружено, что при прослушивании композиций с модуляцией в доминанту отмечается достоверно меньший прирост в альфа диапазоне и больший прирост в бета2 диапазоне по сравнению с другими ступенями. Мы связываем различия между гармоническими последовательностями и отрывками из музыкальных произведений с дополнительными средствами музыкальной выразительности, присутствующими в этих музыкальных произведениях. Как было выявлено в психологических исследованиях, повышение выразительности исполнения одних и тех же музыкальных фраз улучшает распознавание степеней модуляции (Thompson, Cuddy, 1997). В нашем эксперименте модуляции в те же самые ступени предъявлялись и в «бедных» по выразительности последовательностях, и в «богатых» по выразительности музыкальных фразах из классической музыки. Таким образом, полученные нами результаты вполне согласуются с результатами, полученными в упомянутом ранее поведенческом исследовании.

Результаты анализа ЭЭГ в нашем эксперименте показали отличие модуляции в доминанту по сравнению с другими ступенями при прослушивании отрывков музыкальных произведений. Этот феномен можно объяснить с позиции классических положений музыкальной теории. Он может быть связан с наличием функциональных отношений в области тональной гармонии, а именно, с принадлежностью мажорного трезвучия на

8 ступени к субдоминантовой сфере (через аккорд гармонической субдоминанты) в данной мажорной тональности (Carlin, 2000). Достоверно меньшая мощность в альфа диапазоне для доминантной ступени в височных и теменных отведениях и большая мощность в тета диапазоне в теменных отведениях при прослушивании фрагментов классических произведений позволяет предположить, что первичная сенсорная обработка данной ступени затрачивает больше ресурсов коры (Klimesch et al., 2007). Однако стоит заметить, что данный эффект проявляется только при наличии дополнительных средств музыкальной выразительности.

При сравнении спектральных характеристик ЭЭГ после прослушивания гармонических последовательностей и отрывков музыкальных произведений, без учета фактора степени модуляции, для гармонических последовательностей была отмечена меньшая мощность в альфа диапазоне и большая - в тета диапазоне. Таким образом, несмотря на то, что различий между гармоническими последовательностями и отрывками музыкальных произведений непосредственно во время прослушивания не было, эффект альфа синхронизации корковых структур, который вызывали отрывки музыкальных произведений, сохранялся дольше после окончания прослушивания. Можно предположить, что дополнительные аспекты выразительности в музыкальных произведениях, которые были сведены к минимуму в искусственно сконструированных гармонических последовательностях, способствовали этому эффекту.

3.4. Исследование возможных нейрофизиологических механизмов обработки расстояния тональной модуляции с применением техники регистрации событийно-связанных потенциалов (ССП) (результаты и обсуждение 4 экспериментальной серии)

В данном разделе представлены результаты 4 экспериментальной серии, основной задачей которой являлось изучение нейрофизиологических механизмов обработки расстояния тональной модуляции, поскольку по результатам 2 экспериментальной серии для нас стало очевидно ключевое значение этой характеристики на проявление физиологических эффектов при прослушивании гармонических последовательностей с модуляциями.

Точность выполнения испытуемыми тестового задания по детектированию изменений тембра при прослушивании фрагментов с нецелевыми модуляциями составила 95 % правильных ответов.

Результаты дисперсионного анализа для временного интервала 150-250 мс выявили значимые эффекты фактора «Расстояние модуляции» ($F(3, 810) = 37.957, p \leq 0.001$, после применения поправки Гринхауса-Гейсера $p \leq 0.001$) и значимый эффект при взаимодействии факторов «Расстояние модуляции» и «Латеральность» ($F(12, 810) = 3.503, p \leq 0.001$, после применения поправки Гринхауса-Гейсера $p \leq 0.008$) на среднюю амплитуду волны N200. Отмечено снижение амплитуды волны N200 при прослушивании фрагментов с модуляциями, по сравнению с нулевой ступенью. Эти изменения наиболее выражены на центральной оси Fz, Cz, Pz (Рис. 14 и 15). Значимых отличий между амплитудами волны N200 для фрагментов с модулирующими аккордами выявлено не было. Результаты дисперсионного анализа показателей фракционной латентности для временного интервала ССП 150-250 мс выявили значимый эффект фактора

«Расстояние модуляции» ($F(3, 810) = 4.736, p \leq 0.002$, после применения поправки Гринхауса-Гейсера $p \leq 0.03$).

Для временного интервала ССП 550-650 мс был выявлен значимый эффект фактора «Расстояние модуляции» ($F(3, 810) = 12.933, p \leq 0.001$) и значимый эффект при взаимодействии факторов «Расстояние модуляции» и «Зона» ($F(6, 810) = 23.050, p \leq 0.001$). Отмечается увеличение амплитуды волны Р600 в прямой зависимости от расстояния модуляции во фронтальной зоне (Рис. 14 и 15). В париетальной зоне была получена обратная зависимость, отмечалось уменьшение амплитуды волны Р600 при увеличении расстояния модуляции. Результаты дисперсионного анализа показателей фракционной латентности для временного интервала ССП 550-650 мс не выявили значимых эффектов ни для одного из факторов.

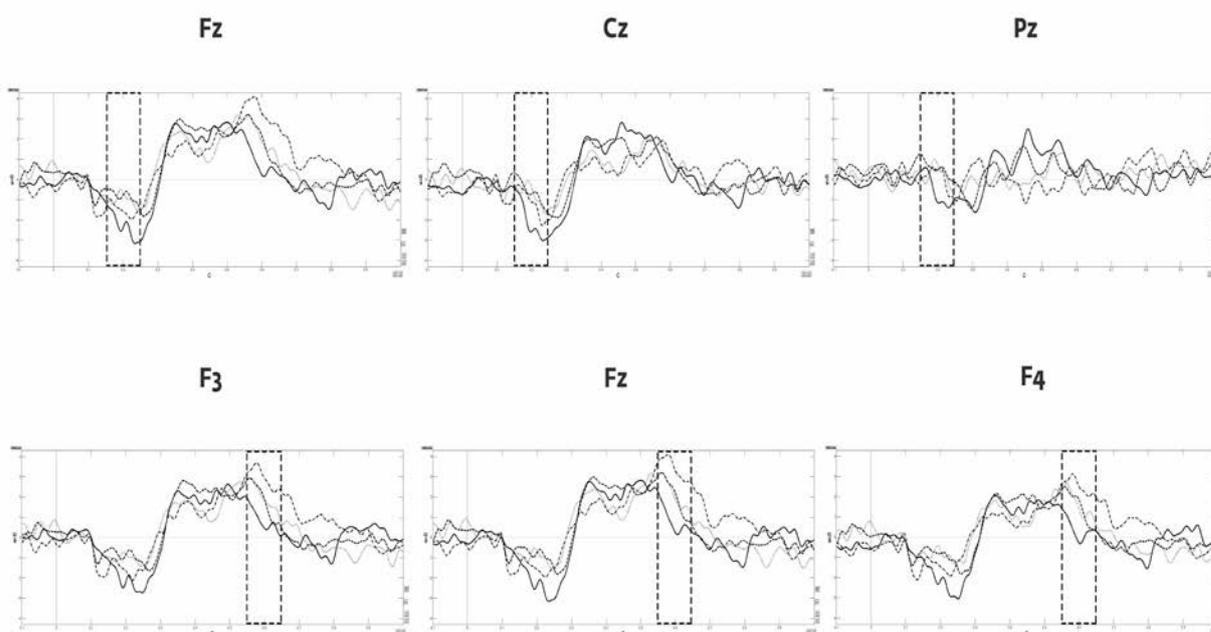


Рис. 14. Усредненные ССП при прослушивании фрагментов с нулевым тональным расстоянием (сплошная линия), с модуляцией в субдоминанту (пунктирная линия), малую сексту (штриховая линия) и тритон (штрих-пунктирная линия). Рамкой на верхнем ряду (отведения Fz, Cz, Pz) выделен временной интервал 150-250 мс, на нижнем (отведения F3, Fz, F4)-550-650 мс. Был применен фильтр нижних частот с частотой среза 35 Гц.

Средняя точность выполнения испытуемыми тестового задания свидетельствует о том, что испытуемые были сконцентрированы на решении задачи детектирования изменений тембра аудиофрагментов.

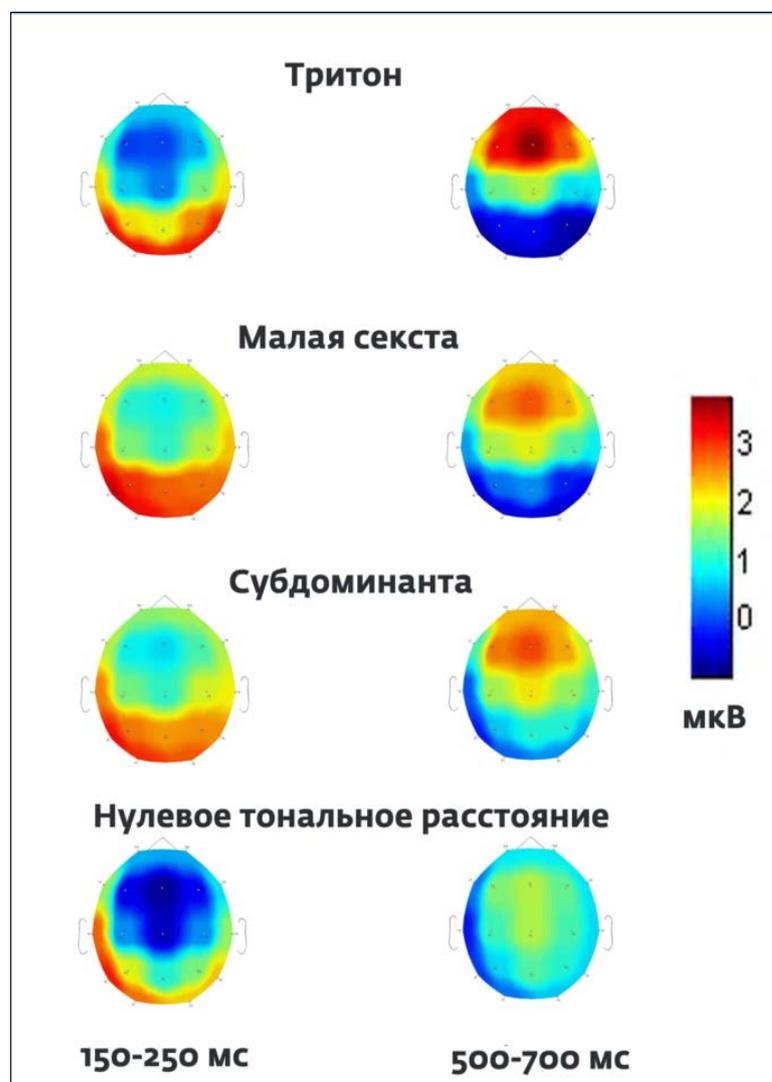


Рис.15. Топологическая тепловая карта усредненной амплитуды ССП для временных интервалов 150-250 мс и 500-700 мс при прослушивании фрагментов с нулевым тональным расстоянием и с модуляциями в субдоминанту (близкая модуляция), малую сексту и тритон (дальние модуляции).

Отмеченное нами снижение амплитуды волны N200 при обработке модулирующих аккордов отличалось от результатов, полученных в

предыдущих исследованиях (Koelsch et al., 2003; Koelsch, Jentschke, 2008), в которых было найдено, что амплитуда волны N200 увеличивалась при обработке тональных модуляций. Результаты нашего исследования показали значимое увеличение амплитуды в момент прослушивания заключительного аккорда в не-модулирующей последовательности (нулевое тональное расстояние). Этот результат может быть обусловлен несколькими факторами. В качестве первого фактора можно выделить то, что мы использовали неподготовленные модуляции (прерванные обороты), в которых музыкальные фразы завершались на неожиданном аккорде, в то время как в предыдущих исследованиях использовались подготовленные модуляции, происходившие с помощью 3х-4х переходных аккордов (Koelsch et al., 2003). В качестве второго фактора можно отметить наличие в нашем эксперименте градации модуляций по их степени (нулевая, близкая и далекая), в то время как в других исследованиях авторы оценивали эффекты модуляций без учета тонального расстояния между начальной и конечной тониками (Koelsch et al., 2003; Koelsch, Jentschke, 2008). Также можно предположить, что увеличение амплитуды волны N200 в ответ на стимулы без модуляции связано с «oddball» парадигмой, при которой для испытуемых стандартными стимулами выступали стимулы с модуляцией (независимо от смены инструмента), а девиантными – стимулы без модуляции. В этом случае наблюдаемое увеличение амплитуды можно связать с негативностью рассогласования при предъявлении девиантных стимулов с частотой 25%. Подтверждением этой гипотезы также служит то, что наблюдаемый эффект проявлялся главным образом во фронто-центральных отведениях (Folstein, VanPetten, 2008). Интересно также и то, что амплитуда волны N200 на девиантные стимулы без модуляции не зависела от тембра инструмента. Это позволяет предполагать, что нейрокогнитивная обработка степени тональной модуляции (близкая или далекая по тональному расстоянию) происходила на более поздних временах по сравнению с такими более «грубыми» отклонениями в структуре музыкальных фраз, как наличие или отсутствие

модуляции как таковой. Эти более ранние реакции на наличие/отсутствие модуляции и были отражены волной N200.

В нашем исследовании также было выявлено увеличение амплитуды P600 в зависимости от расстояния модуляции: наибольшая амплитуда приходилась на внезапно появляющееся трезвучие на тритоне (дальняя модуляция), наименьшая – на заключительном трезвучии во фразах без модуляции (нулевое расстояние). Амплитуды P600 в ответ на модуляции в субдоминанту и малую сексту между собой значимо не отличались и были значимо меньше амплитуды волны при модуляции в тритон и значимо больше при отсутствии модуляции. Данные изменения амплитуды были наиболее выражены во фронтальных отведениях (Рис. 16). То есть, амплитуды P600 образовали градацию от наименьшей амплитуды при нулевом расстоянии, максимальной амплитуды для модуляции в дальний тритон, и промежуточной амплитуды для модуляции в близкую субдоминанту (мажорная тональность на малой сексте – на диатонической ступени VI – принадлежит субдоминантовой сфере).

В современной нейрофизиологической литературе основные предположения по интерпретации функционального значения волны P600 сформированы в области нейролингвистики, поскольку наиболее часто эта волна наблюдается при возникновении разного рода синтаксических аномалий. Некоторые авторы (Coulson et al., 1998) выдвигают предположение о том, что волна P600 отражает обработку «неправдоподобных» (не типичных) синтаксических элементов предложения и по своему механизму схожа с волной P3b, которую связывают с процессами идентификации и соответствия событий внутренним представлениям, т.к. волна возникает в случае отклонений контекстно значимого события от предсказанного результата. Было показано, что амплитуды волн P600 и P3b были чувствительны к изменениям вероятности предъявления синтаксических искажений в предложениях и степени их

выраженности, при этом регистрировалось схожее пространственное распределение волн P600 и P3b. Эти авторы (Coulson et al., 1998) отмечают также, что волна P600 не специфична к модальности и не может напрямую соотноситься с обработкой синтаксиса; отсюда они высказывают предположение о том, что волна P600 может отражать нарушения ментальной схемы, отражающей закономерности восприятия различных стимулов.

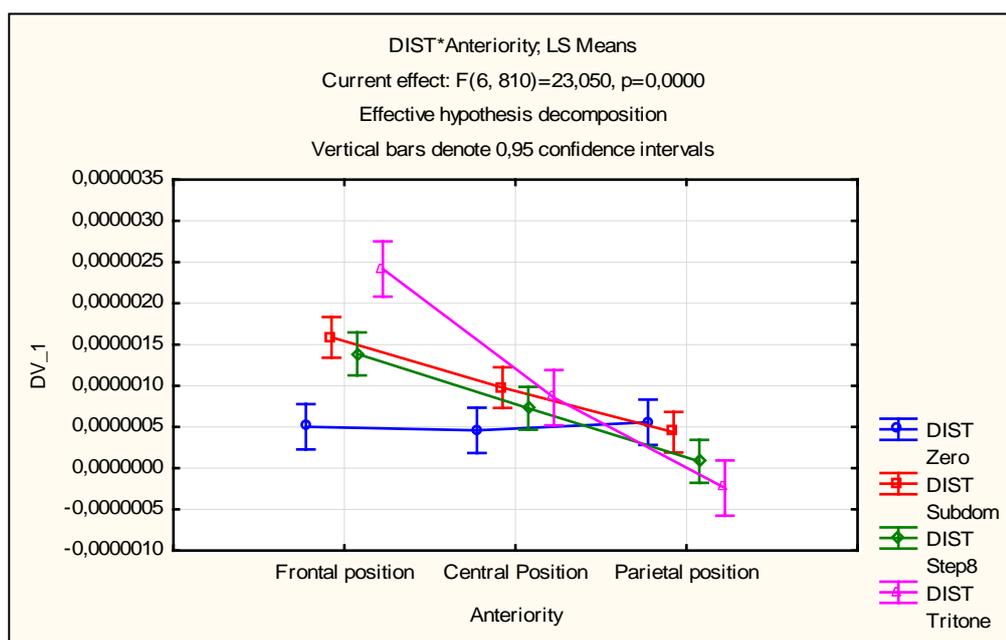


Рис. 16. Результаты дисперсионного анализа средневзвешенной амплитуды на временном интервале 550-650 мс в программе Statistica. На оси абсцисс отображены позиции электродов в соответствии с фактором зоны, на оси ординат отложены значения амплитуд в Вольтах. Можно отметить увеличение амплитуды волны P600 во фронтальных отведениях в зависимости от расстояния модуляции: наибольшая амплитуда приходилась на внезапно появляющееся трезвучие на тритоне (дальняя модуляция), наименьшая – на заключительном трезвучии во фразах без модуляции (нулевое расстояние).

Очевидно, что для речи этой моделью может выступать лингвистический синтаксис, для музыки - законы гармонии, для математики -

математические законы. Применительно к нашим результатам, волна Р600 может отражать степень нарушения правил гармонии при неподготовленном переходе в другую тональность, которая может быть или близкой или далекой по отношению к начальной тональности.

Важно отметить, что топология волны Р600 в нашем эксперименте отличалась от топологии аналогичной волны, полученной в экспериментах Coulson et al. (1998). В нашем эксперименте волна Р600 наиболее выражена в лобных отведениях, в то время как в экспериментах Coulson et al. (1998) она наблюдалась в теменных и затылочных отведениях. Это может быть связано с различиями экспериментальных заданий, так как в нашем эксперименте прослушивание фрагментов с модуляциями было пассивным и проводилось на фоне задачи идентификации изменений тембра, в то время как в экспериментах Coulson et al., (1998) испытуемые читали предложения, предъявляемые на экране монитора, и им необходимо было отвечать на вопросы, связанные с пониманием прочитанного.

Каан и Swaab (2003) выдвинули предположение о том, что волна Р600 отражает целый ряд характеристик синтаксической обработки. Предполагается, что Р600 в теменных и затылочных областях отражает сложность синтаксической обработки, тогда как фронтальная волна Р600 связана со степенью неоднозначности и уровнем сложности синтаксической обработки. При этом возникновение волны Р600 в затылочных областях авторы связывают с процессами «восстановления» и «пересмотра». Под «пересмотром» авторы подразумевают процессы повторного синтаксического анализа в ситуациях обработки синтаксически корректной, но неоднозначной по смыслу конструкции. «Восстановление» в свою очередь отражает процессы реконструкции грамматически неправильного предложения и создание синтаксически корректной его репрезентации. Делается заключение о том, что волна Р600 связана с возникновением неоднозначности разрешения или с возрастанием сложности семантического

анализа. В нашем эксперименте мы наблюдаем схожую топологию распределения волны Р600 при прослушивании модуляций: расстояние модуляции в этом случае отражает степень выраженности нарушений музыкального синтаксиса (правил тональной гармонии). Мы можем предположить, что расстояние тональной модуляции является характеристикой, которая по аналогии с синтаксической и семантической обработкой, характеризует уровень сложности синтаксического анализа в музыке, хотя прямого равенства между ними поставить нельзя, поскольку синтаксис языка и музыки строится на разных принципах.

Gouvea с соавторами (Gouvea et al., 2010) исследовали амплитудно-временные характеристики волны Р600 при обработке разных типов языковых синтаксических нарушений: при нарушениях грамматики, в грамматически правильных предложениях, содержащих смысловые нарушения, которые обнаруживаются после их полного прочтения, и в предложениях, содержащих вопросительные местоимения. Отмечено, что топология распределения волны Р600 для всех типов языковых синтаксических отклонений одинаковая, а именно, волна наблюдается в теменных и затылочных отведениях. Авторы предполагают, что Р600 отражает сложность структурных отношений при формировании мысленной схемы для обработки однородных синтаксических элементов, и что Р600 может быть связана с процессами оценки соответствия новых элементов с уже сформированной синтаксической схемой. При этом предполагается, что латентность Р600 отражает время, необходимое для обработки формирующих синтаксическую структуру элементов, и что амплитуда и продолжительность волны Р600 можно рассматривать как функцию создания и разрушения ментальной схемы синтаксических отношений (Gouvea et al., 2010). По результатам нашего исследования можно предположить, что волна Р600 связана с процессами создания ментальной репрезентации, отражающей

законы гармонии, а амплитуда волны отражает степень рассогласования обрабатываемых элементов с этой репрезентацией.

Заключение

Обобщая полученные результаты по различиям в исходной структуре спектра ВСП испытуемых с инверсией типа вегетативной регуляции и сохранивших его после прослушивания, можно заключить, что исходная структура спектра ВСП может выступать в качестве параметра, определяющего ее динамику во время прослушивания музыки. Достоверное снижение HF диапазона и повышение долевого вклада LF и VLF диапазонов у испытуемых с исходной ваготонией, прослушавших эрготропное музыкальное произведение, и достоверные различия экспериментальной и контрольной групп с инверсией позволяют предположить, что реакция испытуемых на прослушивание связана с центральными и гуморальными механизмами регуляции сердечного ритма. На это также косвенно указывают связи между исходной мощностью VLF диапазона и его приростом после прослушивания эрготропной музыки и отсутствие подобных связей для контрольной группы испытуемых. Система нервно-гуморальной регуляции сердечного ритма может рассматриваться в виде двух контуров (Баевский, 2004) – центрального и автономного. Центральный контур регуляции при этом рассматривается как многоуровневая система нейрогуморальной регуляции, включающая в себя: подкорковые центры продолговатого мозга, гипоталамо-гипофизарный уровень вегетативной регуляции и кору головного мозга. Отмечается, что центральный контроль вегетативных функций и взаимодействие между ЦНС и вегетативной нервной системой осуществляется через прямые, косвенные, восходящие и нисходящие связи (Benarroch, 1997; LeDoux, 1996; Devinsky et al., 1995). Рядом авторов была предложена модель центральной вегетативной сети (Riganello et al., 2012), в которую включены префронтальная кора, поясная извилина, островок, миндалина, центральные и латеральные ядра гипоталамуса, структуры среднего мозга и моста (Рис 17).

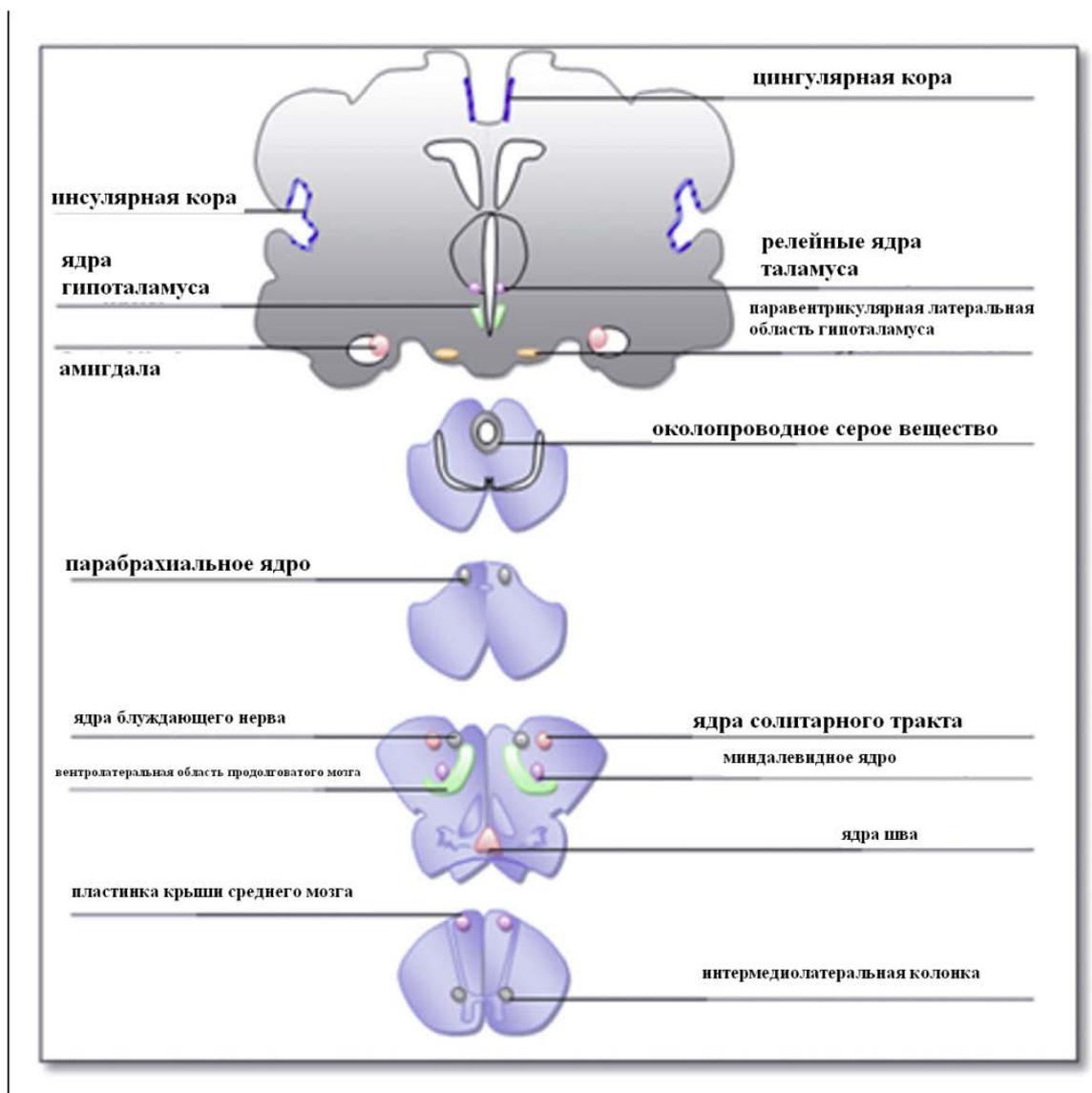


Рис. 17. Схема центральной вегетативной сети по (Benarroch, 1997)

Рассмотренная модель имеет ряд аналогий с моделью распознавания и осознания сенсорных сигналов (Кавамура и др., 2008) на уровне цингулярной коры, амигдалы и гипоталамуса (Рис. 18), что может объяснять возникновение реакций вегетативной нервной системы в ответ на прослушивание музыки. Однако для более детального анализа механизмов, лежащих в основе реакций мозга на музыкальные воздействия, потребовалось изучение реакций биоэлектрической активности коры головного мозга (ЭЭГ) на музыку, предъявляемую в разных контекстах.

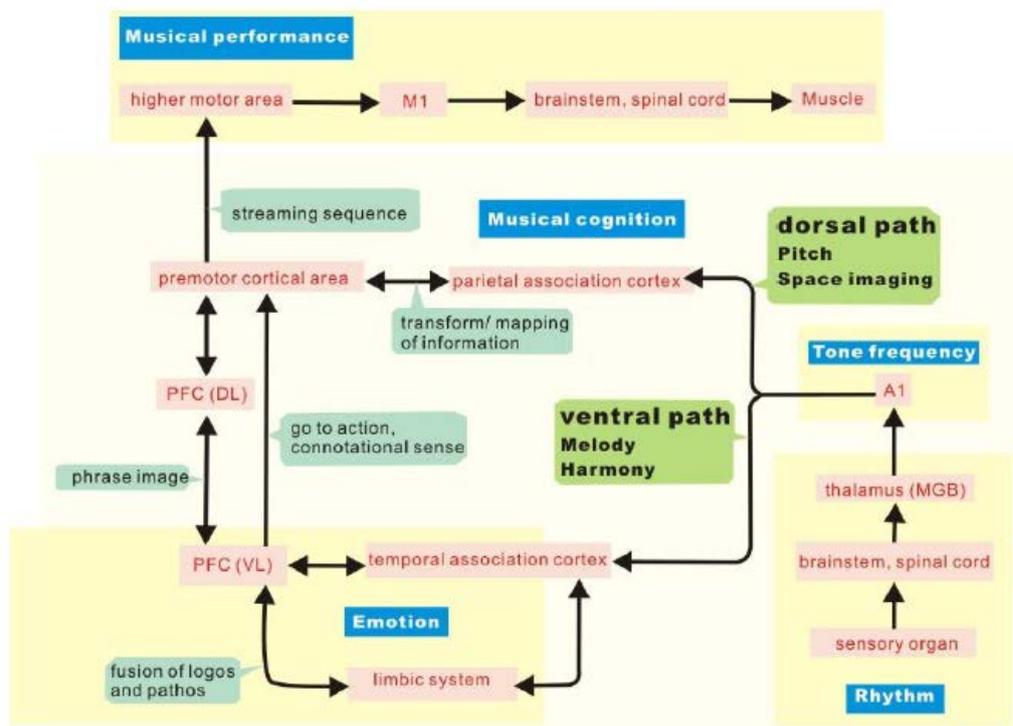


Рис. 18. Модель распознавания и осознания сенсорных сигналов (по Кавамура и др., 2008)

Мы выяснили, что прослушивание музыкальных фрагментов, независимо от ладового условия, вызывало снижение мощности ЭЭГ в диапазонах частот бета1 и бета2 и повышение мощности в альфа диапазоне, что может свидетельствовать об усилении синхронизации биопотенциалов коры на частоте альфа ритма. Данный феномен мы связываем с возникновением событийно связанной синхронизации (event related synchronization) в процессе прослушивания. Событийно связанную синхронизацию связывают (Klimesch et al., 2007; Bazanova, Vernon, 2014) с тормозным нисходящим (top-down) контролем, за счет которого происходит торможение незадействованных для текущей обработки областей коры, что позволяет более эффективно обрабатывать текущий сигнал.

В ряде работ (Krause, 2006; Krause et al., 1996, 1997; Fingelkurts et al., 2003), отмечается, что кодирование акустической информации вызывает нарастание активности в альфа-диапазоне, а активное распознавание,

напротив, подавление, оба феномена при этом характеризуются широким топографическим распределением синхронизации\десинхронизации и зависимостью от вида стимулов. Авторы высказывают предположение о том, что при обработке акустической информации верхний альфа диапазон (10-12 Гц) связан с обработкой лингвистического контекста, поскольку в этом частотной диапазоне не наблюдалось процессов синхронизации\десинхронизации при прослушивании испытуемыми записей речи в обратном порядке, в то время как при нормальном прослушивании они были. При этом для диапазона 8-10 Гц процессы синхронизации\десинхронизации наблюдались в обоих случаях (Krause et al., 1997).

Результаты, полученные при сравнении эффектов от прослушивания фрагментов с начальным минорным и мажорным ладовым условием, выявили повышенный уровень синхронизации на частоте альфа ритма в височных и центральных отведениях. Можно отметить, что ладовое условие (минор\мажор), как правило, характеризуют эмоциональную составляющую музыки (Peretz et al., 1998). Установлено, что при прослушивании минорных мелодий наблюдается большая, по сравнению с мажорными, активация структур лимбической системы, а именно парагиппокампальной извилины, билатеральной вентральной передней поясной извилины и левой префронтальной коры (Green et al., 2008). Эти результаты могут объяснять большой уровень мощности в тета диапазоне при прослушивании фрагментов с начальной минорной тональностью, поскольку тета диапазон связывают с таламо-кортикальным взаимодействием и с кодированием и хранением новой эпизодической информации (Klimesch et al., 2001; Tóth et al., 2012).

При сравнении спектральных характеристик ЭЭГ после прослушивания гармонических последовательностей и отрывков музыкальных произведений, без учета фактора степени модуляции, для

гармонических последовательностей была отмечена меньшая мощность в альфа диапазоне и большая - в тета диапазоне. Таким образом, несмотря на то, что непосредственно во время прослушивания статистически значимых различий между воздействиями искусственно сконструированных гармонических последовательностей и отрывков музыкальных произведений выявлено не было, эффект альфа синхронизации корковых структур, который оказывали отрывки музыкальных произведений, сохранялся значимо дольше после окончания прослушивания. Можно предположить, что дополнительные аспекты выразительности в музыкальных произведениях, которые были сведены к минимуму в гармонических последовательностях, способствовали этому эффекту. Данное предположение открывает перспективы дальнейших исследований.

Выявленное нами снижение амплитуды волны N200 при обработке модулирующих аккордов расходилось с результатами, предыдущих исследований (Koelsch et al., 2003; Koelsch, Jentschke, 2008), в которых было найдено, что N200 увеличивалась при обработке тональных модуляций. Нами было показано значимое увеличение амплитуды в момент прослушивания заключительного аккорда в не-модулирующей последовательности (нулевое тональное расстояние). Этот эффект может быть обусловлен несколькими факторами. В качестве первого фактора можно выделить то, что мы использовали неподготовленные модуляции (прерванные обороты), в которых музыкальные фразы завершались на неожиданном аккорде, в то время как в предыдущих исследованиях использовались подготовленные модуляции, происходившие с помощью 3-4 переходных аккордов (Koelsch et al., 2003). В качестве второго фактора можно отметить наличие в нашем эксперименте градации модуляций по их степени (нулевая, близкая и далекая), в то время как в других исследованиях авторы оценивали эффекты модуляций без учета тонального расстояния

между начальной и конечной тониками (Koelsch et al., 2003; Koelsch, Jentschke, 2008).

Нами также было выявлено увеличение амплитуды P600 в зависимости от расстояния модуляции: наибольшая амплитуда приходилась на внезапно появляющееся трезвучие на тритоне (дальняя модуляция), наименьшая – на заключительном трезвучии во фразах без модуляции (нулевое расстояние). Амплитуды P600 в ответ на модуляции в субдоминанту и малую сексту между собой значимо не отличались и были значимо меньше амплитуды волны при модуляции в тритон и значимо больше при отсутствии модуляции. Данные изменения амплитуды были наиболее выражены во фронтальных отведениях. В целом можно отметить, что полученные нами результаты свидетельствуют в пользу подтверждения гипотезы о единых механизмах обработки музыкальных и языковых правил (Pattel et al., 1998). Можно отметить важность дальнейших исследований в этом направлении, поскольку они могут пролить свет на физиологические механизмы интегральной обработки процессов построения ментальных репрезентаций и правил, тем более, что уже имеются работы подтверждающие возможность построения физиологических моделей когнитивного пространства решаемых задач (Роик, Иваницкий, 2011; Роик и др., 2012). Дальнейшие наши работы мы планируем посвятить более глубокому изучению механизмов обработки музыкального синтаксиса и его сопоставлению с механизмами обработки других систем правил (таких как языковой синтаксис, математические и геометрические правила).

В качестве перспективного направления применения полученных нами результатов стоит так же отметить активно развивающееся в последнее время направление разработки технологии музыкального ЭЭГ биоуправления и интерфейсов мозг – компьютер. Технология сочетает в себе принципы неосознаваемого восприятия, характерные для музыкальной терапии, и индивидуальный подход, характерный для процедур

биоуправления (Федотчев, 2013, Федотчев, Радченко, 2013, Каплан и др., 2013). Преимущества данного подхода подтверждаются литературными данными о том, что музыкальные воздействия, индивидуально подобранные в соответствии с ЭЭГ характеристиками человека и использующие механизмы пластичности мозга, могут эффективно корректировать психические расстройства (Müller et al., 2014) и улучшать функциональное состояние водителей транспортных средств (Liu et al., 2013). При предъявлении человеку музыки, управляемой ритмами его ЭЭГ, достигается оптимальная подстройка параметров музыкального воздействия под индивидуальные характеристики его нервной системы (Константинов и др., 2014). Благодаря вовлечению сенсорных процессов, процессов внимания, восприятия, памяти, а так же мультисенсорной интеграции и активации эмоциональной сферы музыкальные воздействия оказывают позитивное влияние на функциональное состояние и когнитивную деятельность человека. Можно предположить, что использование элементов тональной модуляции в качестве конструирования музыкалоподобных сигналов для обратной связи будет способствовать повышению эффективности данных процедур.

Таким образом, можно констатировать, что полученные данные намечают перспективные пути к организации реабилитационных и коррекционных процедур, основанных на музыкальном биоуправлении с обратной связью по ЭКГ и ЭЭГ.

Выводы

1. Кратковременное прослушивание классических музыкальных произведений приводит к широкому спектру изменений тонуса вегетативной нервной системы, результат которых зависит от характера музыкального произведения (эрготропное, трофотропное), исходного типа вегетативной регуляции и структуры спектра variability сердечного ритма.
2. Близкое расстояние тональной модуляции и мажорное ладовое условие вызывают меньший уровень функциональной активности подкорковых структур по сравнению с минорным ладовым условием и дальним расстоянием тональной модуляции.
3. Изменения функциональной активности центральной нервной системы при прослушивании тональных модуляций более устойчивы при наличии дополнительных средств музыкальной выразительности в прослушиваемых фрагментах.
4. Нейрофизиологическая обработка тональной модуляции, независимо от ее расстояния, происходит через 150-250 мс и проявляется в уменьшении амплитуды волны N200, в то время как обработка тонального расстояния происходит через 550-650 мс и проявляется в увеличении амплитуды волны P600 в ответ на увеличение расстояния тональной модуляции.

Благодарности

Мы хотим поблагодарить Марину Корсакову-Крейн за методическую помощь в вопросах теории музыки и написание стимульного материала ко 2, 3 и 4 экспериментальным сериям.

Литература

1. Altenmüller E. Neurology of musical performance // Clin. Med. 2008. V. 8. N 4. P. 410–413.
2. Altenmüller E., Marco-Pallares J., Münte T.F., Schneider S. Neural reorganization underlies improvement in stroke-induced motor dysfunction by music-supported therapy // Ann. NY Acad. Sci. 2009. V. 1169. P. 395–405.
3. Angel L.A., Polzella D.J., Elvers G.C. Background music and cognitive performance // Percept. Mot. Skills. 2010. V. 110. N 3 Pt. 2. P. 1059–1064
4. Antonietti A. Why is music effective in rehabilitation? // Stud. Health Technol. Inform. 2009. V. 145. P. 179–194.
5. Azizi S.A. Brain to music to brain! // Neurosci. Lett. 2009. V. 459. N 1. P. 1–2.
6. Bannan N., Montgomery-Smith C. ‘Singing for the brain’: reflections on the human capacity for music arising from a pilot study of group singing with Alzheimer’s patients // J.R. Soc. Promot. Health. 2008. V. 128. N 2. P. 73–78.
7. Bazanova O. M., Vernon D. Interpreting EEG alpha activity. Neurosci. Biobehav. Rev. 2014. V. 44. P. 94-110.
8. Benarroch, E.E. The central autonomic network // In Low P.A. (Ed.) Clinical Autonomic Disorders. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven. – 1997. - P. 17-23.
9. Benjamini Y., Yekutieli D. The control of the false discovery rate in multiple testing under dependency. The Annals of Statistics. 2001. V. 29 N.4. P. 1165-1188.
10. Bermudez P., Zatorre R.J. Differences in gray matter between musicians and nonmusicians // Ann. NY Acad. Sci. 2005. V. 1060. P. 395–399.

11. Bernardi L., Porta C., Casucci G. et al. Dynamic interactions between musical, cardiovascular, and cerebral rhythms in humans // *Circulation*. 2009. V. 119. № 25. P. 3171–3180.
12. Bidelman G.M., Krishnan A. Neural correlates of consonance, dissonance, and the hierarchy of musical pitch in the human brainstem // *J. Neurosci*. 2009. V. 29. N 42. P. 13165–13171.
13. Bittman B.B., Berk L.S., Felten D.L. et al. Composite effects of group drumming music therapy on modulation of neuroendocrine-immune parameters in normal subjects // *Altern. Ther. Health Med*. 2001. V. 7. № 1. P. 38–47.
14. Brattico E., Jacobsen T., De Baene W., Gleran E., Tervaniemi M., Cognitive vs. affective listening modes and judgments of music – An ERP study. *Biological Psychology*. 2010. V.85. P. 393–409.
15. Brown S., Martinez M.J., Parsons L.M. Passive music listening spontaneously engages limbic and paralimbic systems // *Neuroreport*. 2004. V. 15. № 13. P. 2033–2037.
16. Caplin W. E. A theory of formal functions for the instrumental music of Haydn, Mozart, and Beethoven. Oxford University Press. 2000.
17. Carrus E., Pearce M. T., Bhattacharya J. Melodic pitch expectation interacts with neural responses to syntactic but not semantic violations. // *Cortex*. 2013. V. 49 N. 8. P. 2186-2200.
18. Celma-Miralles A., de Menezes R.F. and Toro J.M. Look at the Beat, Feel the Meter: Top–Down Effects of Meter Induction on Auditory and Visual Modalities // *Front. Hum. Neurosci*. 2016. V.10.108.
19. Chakravarty M.M., Vuust P. Musical morphology // *Ann. NY Acad. Sci*. 2009. V. 1169. P. 79–83.
20. Chen J.L., Penhune V.B., Zatorre R.J. Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain // *Cereb. Cortex*. 2008. V. 18. № 12. P. 2844–2854.

21. Coulson S., King J. Kutas M. Expect the Unexpected: Event-related Brain Response to Morphosyntactic Violations. *Language and Cognitive Processes*. 1998. V.13. N.1. P. 21-58.
22. Deutsch D. *The psychology of music*, Third Edition. Academic Press, 2013.
23. Devinsky, O., Morrell, M.J., Vogt, B.A. Contributions of the anterior cingulate cortex to behavior // *Brain*. – 1995. - N 118. – P. 279–306.
24. Dousty M., Sabalan D, Haghjoo M. The effects of sedative music, arousal music, and silence on electrocardiography signals. *Journal of electrocardiology*. 2011. V.44 N.3. : 396.e1-396.e6.
25. Ellis R.J., Thayer J.F. Music and Autonomic Nervous System (Dys)function // *Music Percept*. 2010. V. 27. № 4. P. 317–326.
26. Fingelkurts A., Krause C., Kaplan A., Borisov S. and Sams M. Structural (operational) synchrony of EEG alpha activity during an auditory memory task. *Neuroimage*. 2003. V. 20 P. 529–542.
27. Folstein J.R., Van Petten C. Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*. 2008. V.45 N.1. P. 152-170.
28. Forsblom A., Laitinen S., Särkämö T., Tervaniemi M. Therapeutic role of music listening in stroke rehabilitation// *Ann. N.Y. Acad. Sci*. 2009. V. 1169. P. 426–430.
29. Foster N., Zatorre R. J. A Role for the Intraparietal Sulcus in Transforming Musical Pitch Information. // *Cerebral Cortex*. 2010. V. 20. N.6. P. 1350-1359.
30. Gaser C., Schlaug G. Brain structures differ between musicians and non-musicians // *J. Neurosci*. 2003. V. 23. N 27. P. 9240–9245.
31. Gebuza G., Dombrowska A., Kaźmierczak M., Gierszewska M., Mieczkowska E. The effect of music therapy on the cardiac activity parameters of a fetus in a cardiotocographic examination. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2016. V.6. P.1-21.

32. Glen J. Use of audio signals derived from electroencephalographic recordings as a novel 'depth of anaesthesia monitor // *Med. Hypotheses*. 2010. V. 75. № 6. P. 547–549.
33. Gomez P., Danuser B. Relationships between musical structure and psychophysiological measures of emotion // *Emotion*. 2007. V. 7. N 2. P. 377–387.
34. Gouvea, A. C., Phillips, C., Kazanina, N., Poeppel, D. The linguistic processes underlying the P600. *Language and Cognitive Processes*. 2010. V.25 N.2. P. 149-188.
35. Granier-Deferre C. et al. A melodic Contour Repeatedly Experienced by Human Near-Terms Fetuses Elicits a Profound Cardiac Reaction One Month after Birth. // *PLoS ONE*. 2011. V. 6 N.2. P. 1-10.
36. Green AC, Baerentsen KB, Stødkilde-Jørgensen H, Wallentin M, Roepstorff A, Vuust P. Music in minor activates limbic structures: a relationship with dissonance? *Neuroreport*. 2008. V.19 N.7. P. 711-5.
37. Guhn M., Hamm A., Zentner M. Physiological and musicoacoustic correlates of the chill response. *Music Perception*. 24(5) : 473-484. 2007.
38. Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use // *Circulation*. — 1996. — V.93, N5, — P.1043.
39. Herholz SC, Lappe C, Knief A, and Pantev C. Neural basis of music imagery and the effect of musical expertise. // *European Journal of Neuroscience*. 2008. V. 28 N. 11. P. 2352-2360.
40. Hughes J.R. The Mozart Effect. // *Epilepsy Behav*. 2001. V. 2(5). P. 396-417.
41. Hyde K.L., Lerch J., Norton A. et al. Musical training shapes structural brain development // *J.Neurosci*. 2009. V. 29. N 10. P. 3019–3025.
42. Jäncke L., Sandmann P. Music listening while you learn: No influence of background music on verbal learning // *Behav.BrainFunct*. 2010. V. 6. № 1. P. 3.

43. Jansen B. H., Agarwal G., Hedge A., Boutros N. N. Phase synchronization of the ongoing EEG and auditory EP generation. *Clin. Neurophysiol.* 2003. V.114 P. 79–85.
44. Jasemi M., Aazami S., Zabihi R.E. The Effects of Music Therapy on Anxiety and Depression of Cancer Patients. *Indian Journal of Palliative Care.* 2016. V. 22. №. 4. P. 455-458.
45. Jentschke S., Koelsch S., Sallat S., Friederici A.D. Children with specific language impairment also show impairment of music-syntactic processing // *J.Cogn.Neurosci.* 2008. V. 20. № 11. P. 1940–1951.
46. Juslin P. N., Sloboda J. A. *Handbook of music and emotion: Theory, research, applications.* Oxford, UK: Oxford University Press. 2010.
47. Kaan E. Swaab T. Repair, revision and complexity in syntactic analysis: an electrophysiological investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience.* 2003. V.15. P. 98–110.
48. Kaan E., Harris A. Gibson E., Holcomb P. The P600 as an index of syntactic integration difficulty. *Language & Cognitive Processes.* 2000. V. 15. P. 159–201.
49. Kastner, M. P., Crowder, R. G. Perception of the Major/Minor Distinction: IV. Emotional Connotations in Young Children// *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 1990, V. 8, N. 2, P. 189-201.
50. Khalifa S., Schon D., Anton J.L, Liégeois-Chauvel C. Brain regions involved in the recognition of happiness and sadness in music // *Neuroreport.* 2005. V. 16.№ 18. P. 1981–1984.
51. Kim C. H. et al. Melody effects on ERANm elicited by harmonic irregularity in musical syntax. // *Brain Research.* 2014. V. 1560. P. 36-45.
52. Klassen J.A., Liang Y., Tjosvold L. et al. Music for pain and anxiety in children undergoing medical procedures: a systematic review of randomized controlled trials // *Ambul. Pediatr.* 2008. V. 8. № 2. P. 117–128.

53. Kleber B., Veit R., Birbaumer N. et al. The brain of opera singers: experience-dependent changes in functional activation // *Cereb. Cortex*. 2010. V. 20. № 5. P. 1144–1152.
54. Klimesch W., Doppelmayr M., Yonelinas A., Kroll N.E., Lazzara M., Röhme D., Gruber W. Theta synchronization during episodic retrieval: neural correlates of conscious awareness // *Brain Research. Cognitive Brain Research*. – 2001. – V.12, N.1. – P.33-38.
55. Klimesch W., Sauseng P., Hanslmayr S. EEG alpha oscillations: the inhibition timing hypothesis. *Brain Research Reviews*. 2007. V.53 N.1. P. 63–88.
56. Koelsch S. A neuroscientific perspective on music therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2009. V. 1169. P. 374–384.
57. Koelsch S., Gunter T., Schröger E., Friederici A. D. Processing Tonal Modulations: An ERP Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2003. V. 15. N.8. P. 1149-1159.
58. Koelsch S., Jentschke S. Differences in electric brain responses to melodies and chords. // *J. Cogn. Neurosci*. 2010. V. 22. N 10. P. 2251-2262.
59. Koelsch S., Siebel W.A. Towards a neural basis of music perception // *Trends Cogn. Sci*. 2005. V. 9. № 12. P. 578–584.
60. Koelsch, S., Jentschke, S. Short-term effects of processing musical syntax: An ERP study. *Brain Research*. 2008. V. 1212. P. 55-62.
61. Kong Y. Y., Mullangi A., Marozeau J., Epstein M. Temporal and spectral cues for musical timbre perception in electric hearing. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2011. V.54. P. 981-994.
62. Korsakova-Kreyn M. N., Dowling W. J. Emotional processing in music: Study in affective responses to tonal modulation in controlled harmonic progressions and real music. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*. 2014. V.24 N.1. P. 4-20.
63. Korsakova-Kreyn, M. "The Universe of Music." Charleston, SC: CreateSpace. 2010

64. Krause C.M. Cognition- and memory-related ERD/ERS responses in the auditory stimulus modality. *Progress in Brain Research*. 2006. V. 159 P. 197-207
65. Krause C.M., Lang, A.H., Laine M., Kuusisto M. and Porn B. Event-related EEG desynchronization and synchronization during an auditory memory task. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* – 1996 V. 98 P. 319–326.
66. Krause C.M., Porn B., Lang A.H. and Laine M. Relative alpha desynchronization and synchronization during speech perception. *Cogn. Brain Res.* - 1997 V.5 P. 295–299.
67. Krumhansl, C. L. and Kessler, E. J. Tracing the dynamic changes in perceived tonal organization in a spatial representation of musical keys. *Psychological Review*. 1982. V.89. P.334–368.
68. Kryptos, A.M., Jahfari, S., van Ast, V.A., Kindt, M., Forstmann, B.U. Individual differences in heart rate variability predict the degree of slowing during response inhibition and initiation in the presence of emotional stimuli // *Front Psychol.* – 2011. - N 2. - Article 278. – 8 p.
69. Large E.W., Snyder J.S. Pulse and meter as neural resonance // *Ann. NY Acad. Sci.* 2009. V. 1169. P. 46–57.
70. Le Doux, J. Emotional networks and motor control: a fearful view // *Prog. Brain Res.* – 1996. – N 107. – P. 437–446.
71. Lee S., Kim J.S., Seol J., Yi S.W., Chung C.K. Melody effects on ERANm elicited by harmonic irregularity in musical syntax. *Brain Research*. 2014.V. 1560. P. 36–45.
72. Lee Y. S. et al. Investigation of melodic contour processing in the brain using multivariate pattern-based fMRI. // *NeuroImage*. 2011. Vol. 57(1). P. 293-300.
73. Lelekov T., Dominey P.F., Garcia-Larrea L. Dissociable ERP profiles for processing rules vs. instances in a cognitive sequencing task. *Neuroreport*:

- For Rapid Communication of Neuroscience Research 2000. V.11. P. 1129–32.
- 74.Lesiuk T. The effect of preferred music on mood and performance in a high-cognitive demand occupation // *J. MusicTher.* 2010. V. 47. № 2. P. 137–154.
- 75.Levitin D.J., Tirovolas A.K. Current advances in the cognitive neuroscience of music // *Ann. NY Acad. Sci.* 2009. V. 1156. P. 211–231.
- 76.Li S. –A., Bao L., Chrostowski M., Investigating the Effects of a Personalized, Spectrally Altered Music-Based Sound Therapy on Treating Tinnitus: A Blinded, Randomized Controlled Trial. *AudiolNeurotol* 2016 V. 21. P. 296-304.
- 77.Liang C., Earl B., Thompson I., et al. Musicians Are Better than Non-musicians in Frequency Change Detection: Behavioral and Electrophysiological Evidence. *Frontiers in Neuroscience.* 2016;10:464.
- 78.Limb C. J. Structural and Functional Neural Correlates of Music Perception. // *The Anatomical Record Part A.* 2006. V. 288A. P. 435-446.
- 79.Lin et al.: Revealing spatio-spectral electroencephalographic dynamics of musical mode and tempo perception by independent component analysis. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 2014 11:18
- 80.Lin Y.P., Duann J.R., Chen J.H., Jung T.P. Electroencephalographic dynamics of musical emotion perception revealed by independent spectral components // *Neuroreport.* 2010. V. 21. № 6. P. 410–415.
- 81.Lindenberger U., Li S.C., Gruber W., Müller V. Brains swinging in concert: cortical phase synchronization while playing guitar // *BMC Neurosci.* 2009. V. 10.P. 22.
- 82.Liu N.H., Chiang C.Y., Hsu H.M. Improving driver alertness through music selection using a mobile EEG to detect brainwaves // *Sensors (Basel).* 2013. V. 13. № 7. P. 8199–8221.

83. Loui P., Grent-'t-Jong T., Torpey D., & Woldorff M.G. Effects of Attention on the Neural Processing of Harmonic Syntax in Western Music. *Cognitive Brain Research*. 2005. V.25. P. 678-687.
84. Luck S. J. *An Introduction to the Event - Related Potential Technique*. Cambridge, MA: MIT Press. 2005.
85. McAdams S., Winsberg S., Donnadieu S., De Soete G., Krimphoff J. Perceptual scaling of synthesized musical timbres: Common dimensions, specificities, and latent subject classes. 1995. *Psychological Research*. V.58. P. 177-192.
86. Minciacchi D. Translation from neurobiological data to music parameters // *Ann. NY Acad. Sci.* 2003.V. 999. P. 282–301.
87. Mindlin G., Rozelle G., Price J. et al. Brain Music Therapy as a complementary modality for insomnia, anxiety, depression and attention training // *Abstracts of the International Society for Neurofeedback and Research 14-th Annual conference*. San Diego, California. September 6–9, 2007. P. 7
88. Mitterschiffthaler M., Fu C.H., Dalton J.A. et al. A functional MRI study of happy and sad affective states induced by classical music // *Hum. Brain Mapp.* 2007.V. 28. № 11. P. 1150–1162
89. Mizuno T., Sugishita M. Neural correlates underlying perception of tonality-related emotional contents // *Neuroreport*. 2007. V. 18. № 16. P. 1651–1655.
90. Montinaro A. The musical brain: myth and science // *World Neurosurg.* 2010. V. 73. № 5. P. 442–453.
91. Morgan K.A., Harris A.W., Luscombe G. et al. The effect of music on brain wave functioning during an acute psychotic episode: a pilot study // *Psychiatry Res.* 2010. V. 178. № 2. P. 446–448.
92. Müller W., Haffelder G., Schlotmann A. et al. Amelioration of psychiatric symptoms through exposure to music individually adapted to brain rhythm disorders – a randomised clinical trial on the basis of fundamental research // *Cogn. Neuropsychiatry*. 2014. V. 19. № 5. P. 399–413.

93. Musacchia G., Sams M., Skoe E., Kraus N. Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2007. V. 104. № 40. P. 15894–15898.
94. Nakamura P.M., Pereira G., Papini C.B. et al. Effects of preferred and non-preferred music on continuous cycling exercise performance // Percept. Mot. Skills. 2010. V. 110. № 1. P. 257–264.
95. Nugent A.C., Bain, E.E., Thayer, J.F., Sollers, J.J., Drevets, W.C. Heart rate variability during motor and cognitive tasks in females with major depressive disorder // Psychiatry Res. – 2011. - N 191(1). – 19 p.
96. Okamoto H., Stracke H., Stoll W., Pantev C. Listening to tailor-made notched music reduces tinnitus loudness and tinnitus-related auditory cortex activity // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2010. V. 107. № 3. P. 1207–1210.
97. Pantev C., Lappe C., Herholz S.C., Trainor L. Auditory-somatosensory integration and cortical plasticity in musical training // Ann. NY Acad. Sci. 2009. V. 1169. P. 143–150.
98. Pascual-Leone A. The brain that plays music and is changed by it // Ann. N.Y. Acad. Sci. 2001. V. 930. P. 315–329.
99. Patel A.D., Gibson E., Ratner J., Besson M., Holcomb P. Processing syntactic relations in language and music: an event-related potential study. Journal of Cognitive Neuroscience. 1998. V. 10. P. 717–33.
100. Peretz I, Gagnon L, Bouchard B Music and emotion: perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage. Cognition. 1998 .V. 68 N. 2. P. 111-41
101. Peretz I, Gosselin N., Belin P. et al. Music lexical networks: the cortical organization of music recognition // Ann. NY Acad. Sci. 2009. V. 1169. P. 256– 265
102. Peretz I., Listen to the brain: The biological perspective on musical emotions. Music and Emotion: Theory and Research. Oxford: Oxford University Press. 2001.

103. Peretz I., Zatorre R. J. Brain Organization for Music Processing // *Annu. Rev. Psychol.* 2005. Vol. 56. P. 89-114.
104. Proverbio A. M., Orlandi A. D., Pisanu F. Brain processing of consonance/dissonance in musicians and controls: a hemispheric asymmetry revisited. *Eur J Neurosc.*, 2016. V. 44. P. 2340–2356.
105. Riganello, F., Giuliano, D., Walter, G.S. Heart rate variability and the central autonomic network in severe disorder of consciousness // Included in the special issue: Consciousness and the vegetative state: today – *J. Rehabil. Med.* – 2012. - N 44. –P. 481–516.
106. Salimpoor V.N., Benovoy M., Larcher K. et al. Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music // *Nat Neurosci.* 2011. V. 14. № 2. P. 257–262.
107. Salimpoor V.N., Benovoy M., Longo G. et al. The rewarding aspects of music listening are related to degree of emotional arousal // *PLoS One.* 2009. V. 4. № 10. P. e7487.
108. Sammler D., Grigutsch M., Fritz T., Koelsch S. Music and emotion: electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music // *Psychophysiology.* 2007. V. 44. № 2. P. 293–304.
109. Sammler D., Koelsch S., Friederici A. D. Are left fronto-temporal brain areas a prerequisite for normal music-syntactic processing? *Cortex.* 2011. V.47 N.6. P. 659-673.
110. Särkämö T., Pihko E., Laitinen S. et al. Music and speech listening enhance the recovery of early sensory processing after stroke // *J. Cogn. Neurosci.* 2010. V. 22. № 12. P. 2716–2727.
111. Schellenberg E.G. Music and nonmusical abilities // *Ann. NY Acad.Sci.* 2001. V. 930. P. 355–371.
112. Schellenberg E.G. Music lessons enhance IQ // *Psychol.Sci.* 2004. V. 15. № 8. P. 511–514.

113. Schlaug G., Forgeard M., Zhu L. et al. Training induced neuroplasticity in young children // *Ann. NY Acad. Sci.* 2009. V. 1169. P. 205–208.
114. Schlaug G., Norton A., Overy K., Winner E. Effects of music training on the child's brain and cognitive development // *Ann. NY Acad. Sci.* 2005. V. 1060. P. 219–230.
115. Schneider S., Schönle P.W., Altenmüller E., Münte T.F. Using musical instruments to improve motor skill recovery following a stroke // *J. Neurol.* 2007. V. 254. № 10. P. 1339–1346.
116. Schon D., Magne C., Besson M. The music of speech: music training facilitates pitch processing in both music and language // *Psychophysiology.* 2004. V. 41. № 3. P. 341–349.
117. Stewart L., Henson R., Kampe K. et al. Becoming a pianist. An fMRI study of musical literacy acquisition // *Ann. NY Acad. Sci.* 2003. V. 999. P. 204–208.
118. Stracke H., Okamoto H., Pantev C. Customized notched music training reduces tinnitus loudness // *Commun. Integr. Biol.* 2010. V. 3. № 3. P. 274–277.
119. Suda M., Morimoto K., Obata A. et al. Emotional responses to music: towards scientific perspectives on music therapy // *Neuroreport.* 2008. V. 19. № 1. P. 75–78.
120. Sutherland M., Paus T., Zatorre R. J. Neuroanatomical correlates of musical transposition in adolescents: a longitudinal approach. // *Frontiers in systems neuroscience.* 2013. V. 7 N.13. P. 1-9.
121. Tadel F. Baillet S. Mosher J.C. Pantazis D. Leahy R.M. Brainstorm: A User-Friendly Application for MEG/EEG Analysis Computational Intelligence and Neuroscience. 2011. ID 879716. 2011.
122. Tóth B., Boha R., Pósfai M., Gaál Z.A., Kónya A., Stam C.J., Molnár M. EEG synchronization characteristics of functional connectivity and complex network properties of memory maintenance in the delta and theta

- frequency bands // *International Journal of Psychophysiology*. – 2012. – V.83, N.3. – P.399-402.
123. Trainor L. Science & music: the neural roots of music// *Nature*. 2008. V. 453. № 7195. P. 598–599.
124. Trappe H.J. The effects of music on the cardiovascular system and cardiovascular health // *Heart*. 2010.V. 96. № 23. P. 1868–1871.
125. VanderArkS. D., Ely D. Cortisol, Biochemical, and Galvanic Skin Responses to Musical Stimuli of Different Preference Values by College Students in Biology and Music // *Perceptual and Motor Skills*, 1993. V. 77. N. 1: P. 227.
126. Wakim J.H., Smith S., Guinn C. The efficacy of music therapy // *J. Perianesth. Nurs*. 2010. V. 25. № 4.P. 226–232.
127. Wan C.Y., Schlaug G. Music making as a tool for promoting brain plasticity across the life span // *Neuroscientist*.2010. V. 16. № 5. P. 566–577.
128. Wan C.Y., Uber T.R., Hohmann A., Schlaug G. The Therapeutic Effects of Singing in Neurological Disorders// *Music Percept*. 2010. V. 27. № 4. P. 287–295.
129. Watanabe T., Yagishita S., Kikyo H. Memory of music: roles of right hippocampus and left inferior frontal gyrus // *Neuroimage*. 2008. V. 39. № 1. P. 483–491.
130. Webster, G. D., Weir, C. G. Emotional responses to music: Interactive effects of mode, texture, and tempo // *Motivation and Emotion*. 2005. V. 29. N.1. P. 19-39.
131. Wilson E.C., Schlaug G., Pantev C. Listening to Filtered Music as a Treatment Option for Tinnitus: A Review // *Music Percept*. 2010. V. 27. № 4.P. 327–330.
132. Winkler I., Haden G.P., Ladinig O. et al. Newborn infants detect the beat in music // *Proc. Natl. Acad. Sci USA*. 2009. V. 106. № 7. P. 2468–2471.

133. Wong P.C., Skoe E., Russo N.M. et al. Musical experience shapes human brainstem encoding of linguistic pitch patterns // Nat. Neurosci. 2007. V. 10. № 4. P. 420–422.
134. Wu D., Li C., Yin Y. et al. Music composition from the brain signal: representing the mental state by music // Comput. Intell. Neurosci. 2010. Epub. N 267671.
135. Wu D., Li C.Y., Yao D.Z. Scale-free music of the brain // PLoS One. 2009. V. 4. № 6. P. e5915.137.
136. Yasui T, Kaga K, Sakai KL. Language and music: Differential hemispheric dominance in detecting unexpected errors in the lyrics and melody of memorized songs. // Human Brain Mapping. 2009. V. 30. N. 2. P. 588-601.
137. Yokoyama K., Ushida J., Sugiura Y. et al. Heart rate indication using musical data // IEEE Trans. Biomed.Eng. 2002. V. 49. № 7. P. 729–733.
138. Zatorre R. J. Discrimination and recognition of tonal melodies after unilateral cerebral excisions. // Neuropsychologia. 1985. Vol. 23(1). P. 31-41.
139. Zatorre R. J., Berlin P., Penhune V. B. Structure and function of auditory cortex: music and speech. // Trends Cogn Sci. 2002. V. 6(1). P. 36-46.
140. Zatorre R. J., Halpern A. R. Effect of unilateral temporal-lobe excision on perception and imagery of songs. // Neuropsychology. 1993. V. 31. P. 221-232
141. Zatorre R.J., Chen J.L., Penhune V.B. When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production // Nat. Rev. Neurosci. 2007. V. 8. № 7. P. 547–558.
142. Баевский, Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма: история и философия, теория и практика // Клиническая информатика и телемедицина. – 2004. – N 1(1). – С. 54-64.

143. Баевский, Р.М., Иванов, Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // Ультразвуковая функциональная диагностика. - 2001. - № 3. - С.108-127.
144. Базанова О.М. Современная интерпретация альфа- активности ЭЭГ // Успехи физиол. наук. 2009. Т. 40. № 3. С. 32–53
145. Быков А.Т., Маляренко Т.Н., Маляренко Ю.Е. Роль пролонгированных воздействий специально подобранной музыки в оптимизации регуляции хронотропной функции сердца // Вопр. курортол. физио-терап. леч. физкульт. 2003. № 2. С. 10–16 (б. 13)
146. Вейн А.М., Судаков К.В., Левин Я.И. и др. Особенности структуры сна и личности в условиях хронического эмоционального стресса и методы повышения адаптивных возможностей человека // Вестник Рос. Акад. Мед. Наук. 2003. № 4. С 13–17.
147. Геворкян Э. С., Минасян С. М., Абраамян Э. Т. Адамян Ц. И. Влияние музыки на функциональное состояние студентов. Гигиена и санитария. 2013. №3. С. 85-89.
148. Дубовский И. , Евсеев С., Способин И., Соколов В. Учебник Гармонии. М.: Изд. Музыка, 1965.
149. Кавамура К., Парин С.Б., Полевая С.А., Яхно В.Г. (2008). Возможность построения симуляторов осознания сенсорных сигналов: иерархия «распознающих ячеек», нейроархитектура, психофизические данные. - Научная сессия МИФИ-2008. X Всероссийская научно-техническая конф. «Нейроинформатика - 2008»: Лекции по нейроинформатике. / М.:МИФИ. – 2008. – Ч. 1. – С. 23-57.
150. Каплан А.Я., Кочетова А.Г., Шишкин С.Л. и др. Экспериментально-теоретические основания и практические реализации технологии “интерфейс мозг-компьютер” // Бюллетень сибирской медицины. 2013. Т. 12. № 2. С. 21–29.

151. Кириллова И.А., Маляренко Т.Н., Воронин И.М., Говша Ю.А. Зависимость циркадной организации регуляции сердечного ритма от пролонгированного музыкального сенсорного воздействия // Рос. физиол. журн. 2007. Т. 93. № 2. С. 180–188.
152. Константинов К. В., Леонова М. К., Мирошников Д. Б., Клименко В. М. Особенности восприятия акустического образа собственной биоэлектрической активности головного мозга. // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 2014. Т.100 №6 С. 710-721.
153. Константинов К.В., Сизов В.В., Мирошников Д.Б. и др. Восстановление межполушарной симметрии биоэлектрической активности мозга больных с астеноневротическим синдромом методом биоакустической коррекции // Бюл. эксп. биол. мед. 2000.Т. 129. № 2. С. 139–141.
154. Константинов К.В., Трушина В.Н., Яковлев Н.М., Клименко В.М. Модуляция функциональной активности слухового и зрительного анализаторов в условиях прослушивания акустического образа ЭЭГ височного и затылочного отведения // Рос. физиол. журн. 2009. Т. 95. № 1. С. 97–95.
155. Котельников, С.А., Ноздрачев, А.Д., Одинак, М.М., Шустов, Е.Б., Коваленко, И.Ю., Давыденко, В.Ю. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах // Физиология человека. - 2002. - Т.28,№1. - С.130-143.
156. Павлыгина Р.А., Давыдов В.И., Тутушкина М.В. Влияние музыки на латентность распознавания четных чисел. Физиология человека. 2011. Т.37. №2: С. 142-144.
157. Павлыгина Р.А., Сахаров Д.С., Давыдов В.И. Изменение латентностей двигательных ответов на зрительные стимулы при музыкальном сопровождении // Физиология человека. 2009 а. Т. 35. № 3. С. 135–136.

158. Павлыгина Р.А., Сахаров Д.С., Давыдов В.И. Спектральный анализ ЭЭГ человека при прослушивании музыкальных произведений // Физиология человека. 2004. Т. 30. № 1. С. 62–69.
159. Павлыгина Р.А., Сахаров Д.С., Давыдов В.И., Авдонкин А.В. Влияние музыки, различающейся по мощности и стилю, на распознавательную деятельность человека // Журн. высш. нерв. деят. 2009 б. Т. 59. № 5. С. 557–567.
160. Полевая С.А. Интегративные принципы кодирования и распознавания сенсорной информации. Особенности осознания световых и звуковых сигналов в стрессовой ситуации // Вестник Новосибирского государственного университета. 2008. Т. 2., Вып. 2. С. 106-117.
161. Роик А.О., Иваницкий Г.А. Нейрофизиологическая модель когнитивного пространства // Журнал высшей нервной деятельности. 2011. Т.60. №6. С. 688-696.
162. Роик А.О., Иваницкий Г.А., Иваницкий А.М. Когнитивное пространство человека: совпадение моделей, построенных на основе анализа ритмов мозга и на психометрических измерениях. Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2012. Т.98. №11. С. 1314-1328.
163. Способин И. Лекции по курсу гармонии. В литературной обработке. Ю. Холопова. М.: Изд. Музыка, 1969.
164. Сулимов А.В., Любимова Ю.В., Павлыгина Р.А., Давыдов В.И. Спектральный анализ ЭЭГ человека при прослушивании музыки // Журн. высш. нерв. деят. 2000. Т. 50. № 1. С. 62–67
165. Федотчев А. И., Бондарь А. Т., Бахчина А. В., Григорьева В. Н., Катаев А. А., Парин С. Б., Полевая С. А., Радченко Г. С. Трансформация ЭЭГ осцилляторов пациента в музыкоподобные сигналы при коррекции стресс-индуцированных функциональных

- состояний. Современные технологии в медицине. 2016. Т.8 №.2 С. 93-98.
166. Федотчев А. И., Бондарь А. Т., Парин С. Б., Полевая С. А., Бахчина А. В., Радченко Г. С. Эффекты музыкально-акустических воздействий, управляемых ЭЭГ осцилляторами субъекта. Рос.физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2015.Т.101 №8. С. 970-977.
167. Федотчев А. И., Радченко Г. С. Музыкальная терапия и музыка мозга: состояние, проблемы и перспективы исследований. Успехи физиол. наук. 2013. Т. 44 №4. С. 34-48.
168. Федотчев А.И. Возможности коррекции психофизиологического состояния человека с помощью музыкальных воздействий, управляемых биопотенциалами мозга пациента // Психическое здоровье. 2013. Т. 11. № 3. С. 51–55.
169. Федотчев А.И. Об эффективности процедур биоуправления с обратной связью от ЭЭГ пациента при коррекции функциональных нарушений, вызванных стрессом // Физиология человека. 2010.Т. 36. № 1. С. 100–105.
170. Федотчев А.И. Стресс, его последствия для человека и современные нелекарственные подходы к их устранению // Успехи физиол. наук. 2009. Т. 40.№ 1. С. 102–115.
171. Федотчев А.И., Бондарь А.Т., Матрусов С.Г. и др. Использование сигналов обратной связи от эндогенных ритмов пациента для нелекарственной коррекции функциональных расстройств // Успехи физиол. наук. 2006. Т. 37. № 4. С. 82–92
172. Федотчев А.И., Бондарь А.Т., Семёнов В.С. Не-лекарственная коррекция функциональных расстройств у человека. Принцип двойной обратной связи от ЭЭГ осцилляторов пациента. – Saarbrucken: LAP – Lamberts Academic Publishing, 2010. –79 стр.
173. Федотчев А.И., Земляная А.А., Полевая С.А., Савчук Л.В. Синдром дефицита внимания с гиперактивностью и современные

- возможности его лечения методом нейробиоуправления. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2016. № 5. С. 98-101.
174. Федотчев А.И., Ким Е.В. Нелекарственная коррекция функциональных расстройств при беременности методом биоуправления с обратной связью по ЭЭГ // Физиология человека. 2006. Т. 32. № 6. С. 28–32.
175. Федотчев А.И., Ким Е.В. Особенности лечебных сеансов биоуправления с обратной связью по ЭЭГ при нормальном и отягощенном протекании беременности // Журн. высш.нerv.деят. 2009. Т. 59.№ 4. С. 421–428.
176. Фролов М.В., Милованова Г.Б., Мехедова А.Я. Влияние сопровождающей музыки на результаты операторской деятельности у лиц с различным уровнем тревожности // Физиология человека. 2005. Т. 31. № 2. С. 49–57.
177. Шушарджан С.В. Музыкотерапия: история и перспективы// Клиническая медицина. 2000. № 3. С.15-18
178. Яковлев Н.М., Константинов К.В., Косицкая З.В., Клименко В.М. Стратегия коррекции девиантного поведения подростков на основе метода адаптивной саморегуляции // Физиология человека. 2007.Т. 33. № 2. С. 42–47.

Приложение

1. Нотная запись гармонических последовательностей используемых в исследовании

The image shows four systems of musical notation, each consisting of a treble and bass clef staff. The music is in 3/4 time and has a key signature of two flats (B-flat and E-flat). The first system is marked with a red '0' and a circled '0'. The notation consists of chords and single notes, primarily in the bass clef, with some chords in the treble clef. The systems are arranged vertically, with the first system at the top and the fourth at the bottom.

Рис.19. Нотная запись гармонических последовательностей (экспериментальная серия 2) с модуляцией в 0 ступень для всех возможных вариаций ладового условия

The image shows four systems of musical notation, each consisting of a treble and bass clef staff. The music is in 3/4 time and has a key signature of two flats (B-flat and E-flat). The first system is marked with a red '1' and a circled '1'. The notation consists of chords and single notes, primarily in the bass clef, with some chords in the treble clef. Blue brackets are drawn under the bass clef staves of each system, and a small 'z' is written below the first bracket. The systems are arranged vertically, with the first system at the top and the fourth at the bottom.

Рис.20. Нотная запись гармонических последовательностей (экспериментальная серия 2) с модуляцией в 1 ступень для всех возможных вариаций ладового условия

The image displays four systems of musical notation, each consisting of a treble clef staff and a bass clef staff. The key signature is one sharp (F#) and the time signature is 3/4. The first system is marked with a red '2' on the left. Each system shows a sequence of chords in the right hand and single notes in the left hand, illustrating a modulation to the first degree.

Рис.21. Нотная запись гармонических последовательностей (экспериментальная серия 2) с модуляцией во 2 ступень для всех возможных вариаций ладового условия

The image displays four systems of musical notation, each consisting of a treble clef staff and a bass clef staff. The key signature is one sharp (F#) and the time signature is 3/4. The first system is marked with a red '3' on the left. Each system shows a sequence of chords in the right hand and single notes in the left hand, illustrating a modulation to the second degree.

Рис.22. Нотная запись гармонических последовательностей (экспериментальная серия 2) с модуляцией в 3 ступень для всех возможных вариаций ладового условия

4

The image shows four systems of musical notation, each consisting of a treble clef staff and a bass clef staff. The music is in 3/4 time and features a key signature of three sharps (F#, C#, G#). The first system is marked with a red '4'. Each system contains two measures of music, with various chords and melodic lines in both hands. The notation includes stems, beams, and various accidentals.

Рис.23. Нотная запись гармонических последовательностей (экспериментальная серия 2) с модуляцией в 4 ступень для всех возможных вариаций ладового условия

5

The image shows four systems of musical notation, each consisting of a treble clef staff and a bass clef staff. The music is in 3/4 time and features a key signature of two flats (Bb, Eb). The first system is marked with a red '5'. Each system contains two measures of music, with various chords and melodic lines in both hands. The notation includes stems, beams, and various accidentals.

Рис.24. Нотная запись гармонических последовательностей (экспериментальная серия 2) с модуляцией в 5 ступень для всех возможных вариаций ладового условия

6

The musical score for Figure 24 consists of four systems of piano accompaniment. Each system is written for a grand piano with a treble and bass staff. The key signature is two sharps (F# and C#), and the time signature is 3/4. The first system shows a sequence of chords in the right hand and single notes in the left hand. The second system shows a similar sequence. The third system shows a sequence of chords in the right hand and single notes in the left hand. The fourth system shows a sequence of chords in the right hand and single notes in the left hand.

Рис.25. Нотная запись гармонических последовательностей (экспериментальная серия 2) с модуляцией в 6 ступень для всех возможных вариаций ладового условия

7

The musical score for Figure 25 consists of four systems of piano accompaniment. Each system is written for a grand piano with a treble and bass staff. The key signature is one sharp (F#), and the time signature is 3/4. The first system shows a sequence of chords in the right hand and single notes in the left hand. The second system shows a similar sequence. The third system shows a sequence of chords in the right hand and single notes in the left hand. The fourth system shows a sequence of chords in the right hand and single notes in the left hand.

Рис.26. Нотная запись гармонических последовательностей (экспериментальная серия 2) с модуляцией в 7 ступень для всех возможных вариаций ладового условия

8

Рис.27. Нотная запись гармонических последовательностей (экспериментальная серия 2) с модуляцией в 8 ступень для всех возможных вариаций ладового условия

9

Рис.28. Нотная запись гармонических последовательностей (экспериментальная серия 2) с модуляцией в 9 ступень для всех возможных вариаций ладового условия



Рис.29. Нотная запись гармонических последовательностей (экспериментальная серия 2) с модуляцией в 10 ступень для всех возможных вариаций ладового условия



Рис.30. Нотная запись гармонических последовательностей (экспериментальная серия 2) с модуляцией в 11 ступень для всех возможных вариаций ладового условия

2. Результаты исследования влияния исходных параметров вегетативной регуляции на результат прослушивания музыкальных произведений

Таблица 6

Средние, минимальные и максимальные значения показателей самочувствия, активности и настроения для выборки с исходным парасимпатическим типом вегетативной регуляции до и после прослушивания эрготропного музыкального произведения.

	Средние значения		Мин.значения		Макс.значения	
	До	После	До	После	До	После
Самочувствие	42 (± 7)	50 (± 7)	21	32	64	69
Активность	45 (± 10)	50 (± 8)	12	23	67	68
Настроение	49 (± 8)	56 (± 4)	24	45	66	70

Таблица 7

Долевое распределение оценок самочувствия активности и настроения для выборки с исходным парасимпатическим типом вегетативной регуляции до и после прослушивания эрготропного музыкального произведения.

	До			После		
	Низкий	Умеренный	Высокий	Низкий	Умеренный	Высокий
Самочувствие	31%	46%	23%	16%	16%	68%
Активность	23%	23%	54%	16%	38%	46%
Настроение	16%	38%	46%	0%	15%	75%

Таблица 8

Средние, минимальные и максимальные значения показателей VLF, LF и HF частот variability сердечного ритма для выборки с исходным парасимпатическим типом вегетативной регуляции до, во время и после прослушивания эрготропного музыкального произведения.

	Средние значения			Минимальные значения			Максимальные значения		
	До	Во время	После	До	Во время	После	До	Во время	После
LF мс ²	2053 (±1542)	2749 (±2134)	1420 (±560)	80	543	419	8777	8375	2301
LF% мс ²	1744 (±1321)	1898 (±1190)	1783 (±1066)	320	457	322	8008	5329	4729
HF% мс ²	3465 (±3549)	2244 (±2039)	2030 (±1629)	25	334	254	17486	10341	8049

Таблица 9

Средние, минимальные и максимальные значения показателей самочувствия, активности и настроения для выборки с исходным симпатическим типом вегетативной регуляции до и после прослушивания эрготропного музыкального произведения.

	Средние значения		Мин.зн ачения		Макс.зн ачения	
	До	После	До	После	До	После
Самочувствие	51 (±8)	52 (±5)	36	39	67	69
Активность	50 (±6)	48(±6)	36	38	62	60
Настроение	55 (±5)	57 (±3)	42	51	67	64

Таблица 10

Долевое распределение оценок самочувствия, активности и настроения для выборки с исходным симпатическим типом вегетативной регуляции до и после прослушивания эрготропного музыкального произведения.

	До			После		
	Низкий	Умеренный	Высокий	Низкий	Умеренный	Высокий
Самочувствие	13.3%	26.6%	60.1%	6.6%	26.6%	66.8%
Активность	6.6%	40%	53.4%	26.6%	26.6%	53.2%
Настроение	0%	13.3%	86.7%	0%	0%	100%

Таблица 11

Средние, минимальные и максимальные значения показателей VLF, LFиHF частот variability сердечного ритма для выборки с исходным парасимпатическим типом вегетативной регуляции до, во время и после прослушивания музыкального произведения.

	Средние значения			Минимальные значения			Максимальные значения		
	До	Во время	После	До	Во время	После	До	Во время	После
LF мс ²	1409 (±757)	1199 (±573)	1405 (±661)	93	402	432	6153	2898	3614
LF% мс ²	1852 (±1044)	1386 (±756)	1770 (±958)	394	141	328	4679	3585	4244
HF% мс ²	1241 (±728)	1505 (±1260)	1201 (±858)	263	95	126	3860	6111	4116

Таблица 12

Средние, минимальные и максимальные значения показателей самочувствия, активности и настроения для выборки с исходным парасимпатическим типом вегетативной регуляции до и после прослушивания трофотропного музыкального произведения.

	Средние значения		Мин.значения		Макс.значения	
	До	После	До	После	До	После
Самочувствие	51 (± 7)	55 (± 7)	25	43	62	67
Активность	51 (± 10)	44 (± 8)	41	36	62	59
Настроение	55 (± 8)	58 (± 4)	36	44	67	68

Таблица 13

Долевое распределение оценок самочувствия, активности и настроения для выборки с исходным парасимпатическим типом вегетативной регуляции до и после прослушивания трофотропного музыкального произведения.

	До			После		
	Низкий	Умеренный	Высокий	Низкий	Умеренный	Высокий
Самочувствие	9%	9%	82%	0%	9%	91%
Активность	0%	36%	54%	33%	33%	34%
Настроение	9%	0%	91%	0%	18%	82%

Таблица 14

Средние, минимальные и максимальные значения показателей VLF, LFiHF частот variability сердечного ритма для выборки с исходным парасимпатическим типом вегетативной регуляции до, во время и после прослушивания трофотропного музыкального произведения.

	Средние значения			Минимальные значения			Максимальные значения		
	До	Во время	После	До	Во время	После	До	Во время	После
VLF мс ²	2387 (±1542)	1628(±2134)	2341 (±560)	140	411	350	9097	3263	5147
LF % мс ²	2340 (±1321)	3131(±1190)	2601 (±1066)	766	548	652	8765	13856	8800
HF % мс ²	4149 (±3549)	4588(±2039)	3927 (±1629)	1046	642	921	14035	13856	12972

Таблица 15

Средние, минимальные и максимальные значения показателей самочувствия, активности и настроения для выборки с исходным симпатическим типом вегетативной регуляции до и после прослушивания трофотропного музыкального произведения.

	Средние значения		Мин.зн ачения		Макс.зн ачения	
	До	После	До	После	До	После
Самочувствие	51 (±8)	56 (±5)	32	32	68	69
Активность	47 (±6)	47(±6)	35	36	59	60
Настроение	55 (±5)	54(±3)	37	38	67	64

Таблица 16

Долевое распределение оценок самочувствия, активности и настроения для выборки с исходным симпатическим типом вегетативной регуляции до и после прослушивания трофотропного музыкального произведения.

	До			После		
	Низкий	Умеренный	Высокий	Низкий	Умеренный	Высокий
Самочувствие	13%	26 %	60%	9%	9%	82%
Активность	18%	27 %	55%	18%	27%	55%
Настроение	9%	9%	82%	9%	18%	73%

Таблица 17

Средние, минимальные и максимальные значения показателей VLF, LFiHF частот variability сердечного ритма для выборки с исходным парасимпатическим типом вегетативной регуляции до, во время и после прослушивания трофотропного музыкального произведения.

	Средние значения			Минимальные значения			Максимальные значения		
	До	Во время	После	До	Во время	После	До	Во время	После
VLF мс ²	710 (±357)	570 (±273)	855 (±261)	217	152	103	1295	1268	2804
LF% мс ²	1144 (±544)	1109 (±356)	822 (±358)	478	340	266	2651	2754	1389
HF% мс ²	655 (±528)	457 (±260)	653 (±258)	216	141	216	1230	680	1414

Таблица 18

Средние, минимальные и максимальные значения показателей самочувствия, активности и настроения для контрольной выборки с исходным парасимпатическим типом вегетативной регуляции до и после ожидаемого прослушивания музыкального произведения.

	Средние значения		Мин.значения		Макс.значения	
	До	После	До	После	До	После
Самочувствие	50 (± 8)	50 (± 6)	37	35	64	65
Активность	47 (± 9)	43 (± 8)	27	29	65	67
Настроение	54 (± 8)	52 (± 7)	34	31	66	65

Таблица 19

Долевое распределение оценок самочувствия активности и настроения для контрольной выборки с исходным парасимпатическим типом вегетативной регуляции до и после ожидаемого прослушивания музыкального произведения.

	До			После		
	Низкий	Умеренный	Высокий	Низкий	Умеренный	Высокий
Самочувствие	16.7%	27.8%	55.5%	16.7%	22.2%	61.1%
Активность	27.8%	38.9%	33.3%	33.3%	44.4%	22.3%
Настроение	11.3%	16.7%	72.2%	5.5%	22.2%	72.3%

Средние, минимальные и максимальные значения показателей VLF, LFiHF частот variability сердечного ритма для выборки с исходным парасимпатическим типом вегетативной регуляции до, во время и после ожидаемого прослушивания тропического музыкального произведения.

	Средние значения			Минимальные значения			Максимальные значения		
	До	Во время	После	До	Во время	После	До	Во время	После
VLF мс ²	887 (±366)	1067 (±591)	1142 (±914)	275	247	126	1563	2921	8486
LF% мс ²	917 (±504)	852 (±343)	924 (±422)	147	186	117	2393	1964	1769
HF% мс ²	2468 (±1860)	2085 (±1412)	2159 (±1571)	276	280	148	7046	8637	10529

3. Результаты исследования возможных нейрофизиологических механизмов обработки расстояния тональной модуляции с применением техники регистрации ССП

Таблица 21

Результаты дисперсионного анализа показателей средневзвешенной амплитуды на временном интервале 150-250 мс.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,000000	1	0,000000	21,16467	0,000006
Anteriority	0,000000	2	0,000000	20,77882	0,000000
Laterality	0,000000	4	0,000000	6,44322	0,000058
Anteriority*Laterality	0,000000	8	0,000000	0,53010	0,833476
Error	0,000000	270	0,000000		
DIST	0,000000	3	0,000000	37,95687	0,000000
DIST*Anteriority	0,000000	6	0,000000	1,13912	0,337543
DIST*Laterality	0,000000	12	0,000000	3,50369	0,000045
DIST*Anteriority*Laterality	0,000000	24	0,000000	0,24627	0,999932
Error	0,000000	810	0,000000		

Таблица 22

Результаты апостериорного анализа с применением поправки Бонферони для показателей средневзвешенной амплитуды на временном интервале 150-250 мс для фактора «Расстояние модуляции»

	DIST	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Zero		0,000000	0,000000	0,000017
2	Subdom	0,000000		0,379747	0,004993
3	Step8	0,000000	0,379747		0,000001
4	Tritone	0,000017	0,004993	0,000001	

Таблица 23

Результаты дисперсионного анализа показателей средневзвешенной амплитуды на временном интервале 550-650 мс.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,000000	1	0,000000 0	192,741 7	0,00000 0
Anteriority	0,000000	2	0,000000 0	39,1173	0,00000 0
Laterality	0,000000	4	0,000000 0	4,3595	0,00196 8
Anteriority*Laterality	0,000000	8	0,000000 0	0,4032	0,91828 7
Error	0,000000	270	0,000000 0		
DIST	0,000000	3	0,000000 0	12,9329	0,00000 0
DIST*Anteriority	0,000000	6	0,000000 0	23,0502	0,00000 0
DIST*Laterality	0,000000	12	0,000000 0	0,2682	0,99367 3
DIST*Anteriority*Laterality	0,000000	24	0,000000 0	0,2890	0,99971 1
Error	0,000000	810	0,000000 0		

Таблица 24

Результаты апостериорного анализа с применением поправки Бонферони для показателей средневзвешенной амплитуды на временном интервале 550-650 мс для фактора «Расстояние модуляции»

	DIST	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Zero		0,000001	0,106902	0,000001
2	Subdom	0,000001		0,028609	1,000000
3	Step8	0,106902	0,028609		0,020374
4	Tritone	0,000001	1,000000	0,020374	

Таблица 25

Результаты дисперсионного анализа показателей фракционной латентности на временном интервале 150-250 мс.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	45,97517	1	45,97517	134281,2	0,000000
Anteriority	0,00225	2	0,00112	3,3	0,039036
Laterality	0,00655	4	0,00164	4,8	0,000960
Anteriority*Laterality	0,00162	8	0,00020	0,6	0,784445
Error	0,09244	270	0,00034		
DIST	0,00296	3	0,00099	4,7	0,002781
DIST*Anteriority	0,00079	6	0,00013	0,6	0,702991
DIST*Laterality	0,00514	12	0,00043	2,1	0,017841
DIST*Anteriority*Laterality	0,00180	24	0,00007	0,4	0,998209
Error	0,16894	810	0,00021		

Таблица 26

Результаты дисперсионного анализа показателей фракционной латентности на временном интервале 550-650 мс.

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	404,9939	1	404,9939	2040242	0,000000
Anteriority	0,0027	2	0,0014	7	0,001263
Laterality	0,0010	4	0,0002	1	0,297091
Anteriority*Laterality	0,0013	8	0,0002	1	0,587088
Error	0,0536	270	0,0002		
DIST	0,0003	3	0,0001	1	0,664227
DIST*Anteriority	0,0034	6	0,0006	3	0,007317
DIST*Laterality	0,0032	12	0,0003	1	0,172465
DIST*Anteriority*Laterality	0,0017	24	0,0001	0	0,998101
Error	0,1560	810	0,0002		

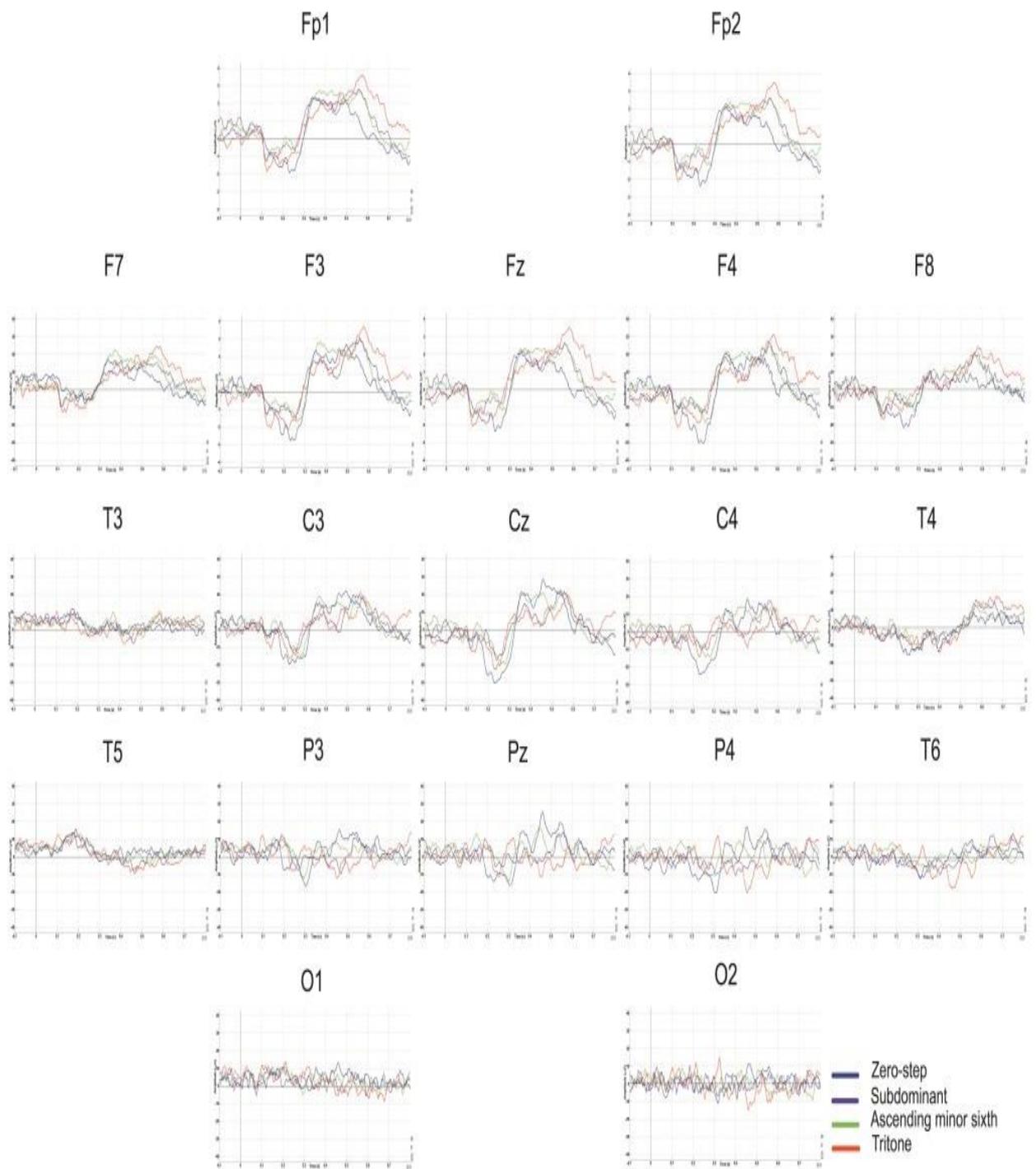


Рис. 31. Усредненные ССП при прослушивании фрагментов с нулевым тональным расстоянием (синяя линия), с модуляцией в субдоминанту (фиолетовая линия), малую сексту (зеленая линия) и тритон (красная линия). Был применен фильтр нижних частот с частотой среза 35 Гц.