

На правах рукописи

БАЗАНОВА ОЛЬГА МИХАЙЛОВНА

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
АЛЬФА-АКТИВНОСТИ И
СЕНСОМОТОРНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ

Специальность 19.00.02 - психофизиология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Новосибирск – 2009

Работа выполнена в Государственном учреждении Научно-исследовательском институте молекулярной биологии и биофизики СО РАМН

Научные консультанты:

академик РАМН, доктор биологических наук, профессор

Штарк Марк Борисович,

академик РАМН, доктор медицинских наук, профессор

Афтанас Любомир Иванович.

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук, профессор

(Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова)

Каплан Александр Яковлевич

доктор биологических наук

(Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии Российской Академии Наук)

Иваницкий Георгий Алексеевич

доктор биологических наук, профессор

(Новосибирский государственный педагогический университет)

Леутин Виталий Петрович

Ведущая организация: Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина Российской академии медицинских наук

Защита состоится «__» _____ 2009 года в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 001.014.01 при ГУ НИИ физиологии Сибирского отделения РАМН (630117, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 4)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГУ НИИ физиологии СО РАМН.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2008 года

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат биологических наук,

Бузуева И.И

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Актуальность проблемы.

Начиная с работ Н. А. Берштейна и П. К. Анохина многими исследователями было показано, что в основе сенсомоторной интеграции лежит функциональная консолидация процессов планирования, принятия решения и выполнения действия [Бернштейн 1966]. Предполагается, что альфа-осцилляции ЭЭГ отражают ритмические колебаний возбудимости этих главных элементов и их взаимодействие [Бернштейн, 1966; Floel et al, 2004; Birbaumer & Cohen 2007; Klimesh et al, 2007]. При этом была установлена реципрокная взаимосвязь между показателями мышечного тонуса и мощностью альфа-ритма ЭЭГ [Lundberg et al., 2002; Lotze et al., 2003, Hummel et al., 2004; Harmon-Jones, 2006; Ng et al., 2008]. На основании этого феномена разработана технология альфа-стимулирующего тренинга нейробиоуправления, предполагающего, что произвольное увеличение альфа-мощности ЭЭГ сопровождается реципрокным снижением мышечного тонуса [Schwarz & Andrasik 2003]. Эффективность технологии нейробиоуправления зависит от обоснованности выбора индивидуального параметра ЭЭГ в качестве сигнала обратной связи [Monastra et al. 2003].

Со времени открытия Г. Бергером доминирующего ритма ЭЭГ накоплено такое количество сведений о функциональной значимости характеристик альфа-ритма, что изначальное суждение об активности альфа-осцилляций только по величине его амплитуды в некоем стандартном диапазоне во многом не соответствует описанным функциям [Klimesh et al., 2007; Thatcher et al., 2008]. Более того, не ясно, какие именно количественные признаки ЭЭГ характеризуют увеличение или снижение альфа-активности - рост или снижение амплитуды, учащение или снижение частоты, синхронность или десинхронизация фаз колебаний.

Согласно результатам многочисленных исследований альфа-ритма ЭЭГ, можно утверждать, что альфа-активность определяется, как минимум, тремя характеристиками: (1) частотой доминирующего ритма ЭЭГ, (2) реакцией снижения амплитуды на открывание глаз и (3) веретенообразностью колебаний [Ливанов 1964; Nunez et al., 2001, Thatcher et al., 2008].

Предположительно, показатель частоты доминирующего (максимального) пика ЭЭГ отражает единый агрегированный ресурс генерации альфа-активности и варьирует в соответствии с запросами конкретного когнитивного задания [Martínez-Montes et al., 2004; Hooper, 2005]. При среднем значении около 10 Гц, частота максимального пика может варьировать на индивидуальном уровне в диапазоне от 7 до 13 Гц [Klimesh et al 1997; Jausovec&Jausovec 2000]. Установлена зависимость частоты максимального пика альфа-ритма от возраста [Clarke et al., 2004], характера психофармакологического воздействия [Foulds et al, 1994; Tops et al, 2006], выраженности процессов утомления [Kamijo et al, 2004], успешности выполнения когнитивных [Klimesh 1993-2007; Doppelmayr 1998; Halnsmayr 2007] и психомоторных заданий [Hummel et al., 2005]. Наконец, этот показатель является индикатором индивидуально-типологических различий [Angelakis et al., 2004; Nunez, 2001; Anokhin et al, 2006; Geffen & Martin 2006; Thatcher et al., 2008]. Таким образом, частота максимального пика альфа-ритма ЭЭГ является информативным предиктором эффективности когнитивной и психомоторной деятельности, а его вариабельность отражает изменения в кортикально-таламических взаимодействиях

[Pfurtscheller & Lopes de Silva, 1999; Ng & Raveendran, 2008]. Более того, существуют предположения, что частота максимального пика альфа-осцилляций является “якорем”, отправной точкой установления частотного паттерна ЭЭГ [Klimesh et al 1997]. Однако до настоящего времени определение частотных диапазонов проводится согласно договоренностям и стандартам [Kaiser, 2001; Thatcher et al., 2008], не учитывающим индивидуальные проявления второй феноменологической характеристики альфа-активности - реакции снижения амплитуды в ответ на сенсорную стимуляцию, прежде всего, зрительной системы. Между тем, в недавних пионерских исследованиях в условиях сочетанной регистрации ЭЭГ и ф-МРТ убедительно показано, что эпизоды спонтанного снижения альфа-мощности ЭЭГ в состоянии физиологического покоя ассоциируются с усилением мозговой активности [Laufs et al., 2003; Barry et al., 2007]. Авторы предполагают, что картина мозговой активации во время снижения альфа-мощности зависит от общего уровня мозговой активности, наблюдаемой в более широком (не только в стандартном “альфа”) спектральном диапазоне ЭЭГ [Laufs et al 2003b, 2006; Barry et al 2007]. Из этого следует, что индивидуальная ширина диапазона частот, в котором проявляется альфа-активность, также может варьировать в зависимости от уровня мозговой активации. Таким образом, ширина диапазона, в котором отмечается десинхронизация, глубина и длительность снижения мощности могут служить индивидуальными показателями альфа-активности.

Наконец, третьей важнейшей особенностью альфа-ритма является его веретенообразность или его высокая фазическая изменчивость (сегментная структурированность) [Creutzfeldt 1985; Каплан и др., 2002, 2003;], отражающая динамику ансамблевой организации корковой нейронной активности. Средняя амплитуда альфа-ритма в сегменте (веретене) и его длительность отражают объем и “время жизни” нейронного ансамбля, амплитудная вариативность – вариабельность частотных генераторов в рамках ансамбля, а крутизна межсегментных переходов – скорость формирования или распада соответствующих ансамблей [Каплан и др. 2002].

Таким образом, рассмотренные выше показатели альфа-активности ЭЭГ, определяемые индивидуально как в состоянии физиологического покоя (частота максимального спектрального пика альфа-активности, фазическая изменчивость микроструктуры альфа-ритма), так и в ответ на стандартизованную сенсорную пробу зрительной стимуляции (индивидуальная ширина диапазона альфа-активности, глубина и длительность десинхронизации в этом диапазоне), характеризуют степень активированности коры, а также гибкость и пластичность нейронных осцилляторов. Тем самым, данные показатели могут предсказывать эффективность процессов сенсомоторной интеграции.

Несмотря на хорошо изученную зависимость эффективности психомоторной деятельности от возраста [Bosman 1999; Фарбер и др., 2006; Lightfoot 2008], гендерной принадлежности [Verotti et al. 2007; Morris et al, 2008, Lightfoot 2008] и нейрогуморального статуса [Hassler 1992; Kasamatsu et al., 2002; Herzog, 2007; Dreher et al., 2007, 841; Lightfoot 2008], роль альфа-активности в этой связи пока исследована недостаточно. В настоящее время показано, что частота максимального пика альфа-осцилляций [Строганова и др., 1998, 2005; Clark et al 2004], интенсивность процессов активации [Ларькина и Киренская 2005; Barry et al., 2007] и фазической изменчивости альфа-осцилляций [Pierce et al 2000; Nikulin & Brismar 2005; Alexander et al., 2007; Thatcher et al., 2008] зависят от возраста. Однако эти

данные зачастую не соотносятся с половыми и нейрогуморальными особенностями альфа-характеристик. Более того, имеющиеся в литературе сведения относительно гендерной и нейрогуморальной дифференциации альфа-активности достаточно противоречивы: одни авторы показывают наличие половых [Duffy et al., 1993; Hall 2003; Вольф и Разумникова 2004; Nikulin & Brismar 2005] и нейрогуморальных [Becker et al, 1982; Kaplan et al, 1996; Solis -Ortiz et al., 2002; 2004; Epperson et al 2007] различий амплитудных показателей альфа-активности, другие их не находят [Анохин, 1988; Solis-Ortiz et al., 1994; Brenner et al, 1995; Güntekin & Başar 2007]. Одним из подходов к преодолению этих противоречий может быть индивидуализация методов оценки альфа-осцилляций с учетом возрастных, половых и нейрогуморальных особенностей. Более того, индивидуализация протоколов нейробиоуправления, учитывающая в качестве сигнала обратной связи не стандартный, а индивидуальный уровень показателя альфа-активности, например, индивидуальной частоты альфа-пика [Angelakis et al., 2007] или мощности в индивидуальной альфа-2 полосе ЭЭГ [Hanslmayr et al., 2004], значительно повышает эффективность тренинга.

Цель исследования - выяснение закономерностей вариабельности индивидуальных характеристик альфа-активности электроэнцефалограммы человека в зависимости от гендерных, возрастных и нейрогуморальных факторов, роли этой активности в процессах сенсомоторной интеграции и её произвольной модификации при помощи технологии биоуправления.

Основные задачи исследования

1. Разработать метод определения индивидуальной реактивности альфа ритма электроэнцефалограммы по характеристикам ответа на сенсорную (зрительную) стимуляцию. Изучить взаимосвязь между выявленными в исследовании показателями частоты альфа пика, индивидуальной реактивности и характеристиками альфа-веретен при сравнении групп с низкой и высокой альфа-частотой.

2. Установить взаимосвязь между индивидуальными характеристиками альфа-активности электроэнцефалограммы, психофизиологическими показателями дифференциальной чувствительности, невербальной креативности и особенностей темперамента в группах с высокой и низкой альфа-частотой.

3. Исследовать влияние факторов возраста, пола и нейрогуморального статуса на индивидуальные характеристики альфа-активности электроэнцефалограммы в группах с высокой и низкой альфа-частотой.

4. Определить связь индивидуальных характеристик альфа-активности электроэнцефалограммы с эффективностью сенсомоторной интеграции на примере профессиональной музыкально-исполнительской деятельности.

5. Изучить роль индивидуальных характеристик альфа-активности в обучении музыкально-исполнительскому мастерству лиц с разной альфа - частотой. Разработать протокол биоуправления, направленного на обучение и повышение эффективности музыкально-исполнительской деятельности.

Научная новизна

Впервые, на основе разработанного метода идентификации электроэнцефалографических признаков, характеризующих феноменологическое свойство альфа-активности – реактивность на зрительную стимуляцию, была

показана зависимость этого показателя от индивидуальной частоты максимального альфа-пика и его взаимосвязь с сегментными характеристиками альфа-веретена.

Впервые установлено, что индивидуальные показатели частоты максимального альфа-пика и длительности альфа-веретена могут рассматриваться в качестве индивидуально-типологических маркеров эргичности и продуктивности интеллектуальных процессов и уровня самоактуализации в психомоторной деятельности, а показатели индивидуальной ширины альфа – диапазона и вариабельности амплитуды в качестве маркеров пластичности и эффективности обучения.

Впервые изучена возрастная, половая и нейрогуморальная дифференциация индивидуальных характеристик альфа-активности в зависимости от альфа-частоты.

Впервые показано, что высокому уровню мастерства в музыкально-исполнительской деятельности соответствует увеличение уровня индивидуальных показателей альфа-активности: частоты альфа-пика, глубины и стабильности десинхронизации, ширины альфа-частотного диапазона, вариабельности амплитуды и длительности альфа-веретена.

Впервые разработана и изучена модель обучения музыкантов-исполнителей с использованием биоуправления, направленного одновременно на увеличение мощности в индивидуальном высокочастотном альфа-диапазоне и снижение тонического напряжения мышц, не участвующих в исполнительском движении.

Впервые показана большая эффективность тренинга сенсомоторной интеграции с помощью биоуправления в обучении музыкально-исполнительской деятельности для студентов с низкой, чем высокой частотой альфа-пика.

Научно-практическая ценность работы

Теоретическое значение работы состоит в расширении знаний о связи нейрофизиологических маркеров сенсомоторной интеграции со стратегией обучения в музыкально-исполнительской деятельности. Полученные данные подтверждают, конкретизируют и обогащают положения теорий физиологии движений Н.А.Бернштейна, частотно-рефрактерного механизма альфа-активности М.Н.Ливанова, периодизации торможения В. Климеша, индивидуально-типологической вариативности Б.М.Теплова и В.Д. Небылицина.

Оригинальные результаты, полученные при использовании новой технологии биоуправления, ещё раз подтверждают гипотезу Н.А.Бернштейна о роли сенсомоторной интеграции в оптимизации психофизиологических функций и позволяют рассматривать произвольную модификацию параметров сенсомоторной интеграции с помощью биоуправления, как фактор, способствующий достижению пика формы в музыкально-исполнительской деятельности.

Проведенное исследование индивидуальной вариабельности характеристик альфа-активности в зависимости от возраста, пола и нейрогуморального статуса позволило не только установить роль альфа-активности в механизмах формирования психомоторного поведения, но и повысило эффективность технологии нейробиоуправления, направленного на обучение музыкально-исполнительской деятельности.

Результаты исследования могут быть использованы в практической психолого-педагогической работе при обучении и коррекции нарушений психомоторной деятельности.

Выводы, сделанные на основании полученных результатов, рекомендованы для чтения лекций по курсу «Электроэнцефалографические основы нейробиоуправления», так как они вскрывают конкретные механизмы формирования стратегии обучения и терапии, проводимой с помощью технологии биоуправления.

Апробация работы

Основные результаты работы были доложены и обсуждены на следующих научных конференциях и съездах: 5-ая Международная конференция «Одаренность интеллектуальная и творческая. Концепции, проблемы, перспективы», 14-20 мая 2001 г., Варшава; IV - VI Съезды физиологов Сибири, 2 – 4 июля 2002 г., Новосибирск, и 27-29 июня 2005 г. Томск, 25-27 июня, 2008, г Барнаул; XIX и XX съезды физиологического общества им. И.П.Павлова Екатеринбург, 2004 и Москва, 2007; 7th Multidisciplinary Conference Stress and Behavior Moscow, Russia. 26-28 February 2003; 3rd Conference “Understanding and creating music” Dipartimento di Matematica Seconda Università degli Studi di Napoli, 11-15 Dec. 2003; Conference “The Neurosciences and Music – II: From perception to performance”, Leipzig 05-08. May 2005, conference ICANNGA - 7th International Conference on Adaptive and Natural Computing Algorithms 2005; Coimbra, Portugal, 9th psychophysiological congress “Brain and Behavior” 16-21 Nov.2005, Thessaloniki, Greece; Inaugural Conference of Society of Applied Neuroscience, 14-19th Sept. 2006, Swansea, UK; COST B27 group meeting 11-14th Oct.,2007, Goettingen, Germany; 2d Conference of Society of Applied Neuroscience, 7-11th May 2008, Seville, Spain; 14th World Congress of psychophysiology “The Olympic of the brain”, Sept.8-13, 2008.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 89 работ. Из них 9 статей в рекомендуемых ВАК реферируемых журналах.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания материала и методов, собственных результатов и их обсуждения (5 глав), общего заключения, выводов и списка цитированной литературы (829 работ), изложена на 297 страницах машинописного текста, содержит 82 рисунка и -45- таблиц.

Основные положения работы, выносимые на защиту

- Индикатор индивидуальной частоты максимального пика альфа-активности электроэнцефалограммы позволяет выделить индивидов с высокой (ВЧ) и низкой (НЧ) частотой альфа активности. Эти группы индивидов характеризуются различной реактивностью на зрительную стимуляцию и функциональной микроструктурой альфа-веретен.
- Индивидуально-типологические свойства темперамента и показатели творческой деятельности значимо ассоциируются с индивидуальными индикаторами альфа-активности - частотой максимального пика, глубиной и стабильностью реакции на зрительную стимуляцию, шириной диапазона, вариабельностью амплитуды и длительностью альфа-веретен.
- Факторы возраста, пола и фазы овариально-менструального цикла оказывают модулирующее влияние на индивидуальные показатели альфа-активности.

- Уровень музыкально-исполнительского мастерства положительно взаимосвязан с индивидуальной частотой максимального альфа-пика, стабильностью реакции альфа-десинхронизации, шириной альфа-диапазона, вариабельностью и длительностью альфа-веретена и выше у высокочастотных, чем низкочастотных студентов-музыкантов. Индикатором высокого уровня музыкально-исполнительского мастерства является повышение мощности ЭЭГ в индивидуальном альфа-диапазоне одновременное со снижением ЭМГ тонуса мышц, не участвующих в движении, во время исполнения музыки.

- Обучение музыкантов-исполнителей с использованием биоуправления, направленного одновременно на увеличение мощности в индивидуальном альфа-диапазоне и снижение тонического напряжения мышц, не участвующих в исполнительском движении, является более эффективным, чем традиционная система обучения только для индивидуумов с низкой альфа-частотой.

2.МЕТОДЫ

2.1. Объект исследования

Всего обследовано на добровольной основе 1574 здоровых испытуемых. Программы исследования были утверждены этическими комитетами при ученых советах Магнитогорской и Новосибирской государственных консерваторий, а также Института молекулярной биологии и биофизики СО РАН

2.2. . Социометрическое и психометрическое тестирование

Социометрические оценки проводили с помощью разработанной автором специальной анкеты в соответствии с рекомендациями социо-психометрического тестирования музыкантов-исполнителей [Netemeyer, et al, 1995, 2003]. На основании ответов на вопросы этой анкеты испытуемые подразделялись на 2 основные группы: «немузыканты» - лица, не имеющие опыта музыкально-исполнительской практики и «музыканты» - лица, получившие или получающие среднее и высшее музыкальное образование.

Экспертные оценки музыкальных способностей по соответствующим видам музыкальной деятельности: «техника», «артикуляция», «интонация», «чувство ритма», «музыкальность», «качество звука» и «креативность» [Kraus 1983/84, Гвоздев,2003] давались экспертами из числа профессоров - консерваторий (3-5 человек) в процессе обычных прослушиваний. Эксперты не знали, является ли данный студент испытуемым и/или в каком эксперименте, на каком этапе он/она участвует. Категоризация оценок музыкальной деятельности соответствовала общепринятой на международных конкурсах и аттестационных прослушиваниях музыкантов исполнителей [Kraus 1983].

Тест невербальной креативности проводился в модификации тестов Гилфорда или Торренса. [Туник, 1998] В нашем исследовании мы использовали критерии, установленные Дж. Гилфордом: 1) «Беглость» (продуктивность) — определяется общим числом ответов; 2) «Гибкость» —характеризует способность к быстрому переключению и определяется числом классов (групп) данных ответов; 3) «Оригинальность» —характеризует необычность подхода к проблеме и определяется числом редко приводимых ответов [Guilford,1950].

Ситуативную и личностную тревожность оценивали с помощью тестов Спилбергера Ханина [Ханин, 1976] Уровень мотивационной компетенции или самоактуализации исполнительского действия определяли у музыкантов непосредственно перед исполнением музыки по тесту Райнберга [Rheinberg et al,

2003]. Формально-динамические свойства индивидуальности оценивали с помощью опросника В.М. Русалова [Русалов, 1997]

2.3. Психофизиологические тесты

Оценка дифференциальной звуковой чувствительности проводилось согласно методам аудиометрического тестирования описанным А.Раковским [Rakowski 1961, 1996]. Исследование пространственного порога тактильного различения (тактильной дифференциальной чувствительности разделенных в пространстве раздражителей) было произведено методом Э. Вебера. [Веккер. 1959]. Исследование тонического напряжения мышц, не участвующих в игровом движении, проводилось с помощью метода электромиографии (ЭМГ)[Naito et al.,1998].

2.4. Электроэнцефалографическое исследование

Регистрация электроэнцефалограммы проводилась с помощью компьютерного электроэнцефалографа “Мицар” (С.-Петербург). Для регистрации ЭЭГ был использован ипсилатеральный монтаж референтов для отведений F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2 согласно международной системе расположения электродов "10-20%". Электроэнцефалографический сигнал фильтровался в полосе пропускания 0.3-30 Гц при частоте дискретизации 250 Гц.

В анализ электроэнцефалографических данных включались свободные от артефактов фрагменты ЭЭГ длительностью 60 с (для фоновой ЭЭГ в условиях закрытых глаз) и 20 с для функциональных проб [Mocks, Jasser,1984]. Фрагменты ЭЭГ разделялись на эпохи по 4,096 с (2048 отсчетов АЦП) и подвергались быстрому преобразованию Фурье с использованием перекрывающегося окна Ханна. Выходные формы анализа формировались с помощью специализированной программы WinEEG (Мицар, Санкт-Петербург), Для анализа были заданы частотные диапазоны с шагом 0.27 Гц от 3 до 30 Гц.

Индивидуальная частота максимального пика альфа (ИЧМПА) определялась по стандартной методике [Angelakis et al 1999; Posthuma et al, 2001] в состоянии закрытых и открытых глаз.

Показатели реактивности на зрительную стимуляцию:

ДИЧМПА (Гц) – изменение частоты максимального пика альфа по абсолютной величине рассчитывалось как $|ИЧМПА_{зг} - ИЧМПА_{ог}|$, где ИЧМПА_зг индивидуальная частота максимального пика альфа в состоянии закрытых, а ИЧМПА_ог – открытых глаз.

ИШДА (Гц) - индивидуальная ширина диапазона альфа-активности определялась как ширина частотного диапазона, в котором происходит снижение спектральной мощности ЭЭГ при открывании глаз более, чем на 20% и которая включает все частотные полосы, справа и слева от частоты максимального пика альфа-активности [Doppelmayr et al 1998; Kirshfeld,2004] ИГД (log %) - индивидуальная глубина десинхронизации – логарифм процента снижения спектральной мощности [Alloway et al 1997; Shmelkina, 1999; Molle et al, 2002] в индивидуальном альфа-диапазоне в реакции на открывание глаз и рассчитывалась по формуле: $ИГД = \ln [(СПМ_{зг} - СПМ_{ог}) / СПМ_{зг}]$, где ИГД – индивидуальная глубина десинхронизации, СПМ_зг и СПМ_ог – спектральная плотность мощности в индивидуальной полосе альфа-активности ($\mu V^2/Гц$) в состоянии, соответственно, закрытых и открытых глаз (Рис. 2. 4.1.).

Индивидуальный Альфа-1 частотный диапазон определялся как разница между ИЧМПА и частотой нижней границы, а альфа-2 – как разница между частотой верхней границы и ИЧМПА.

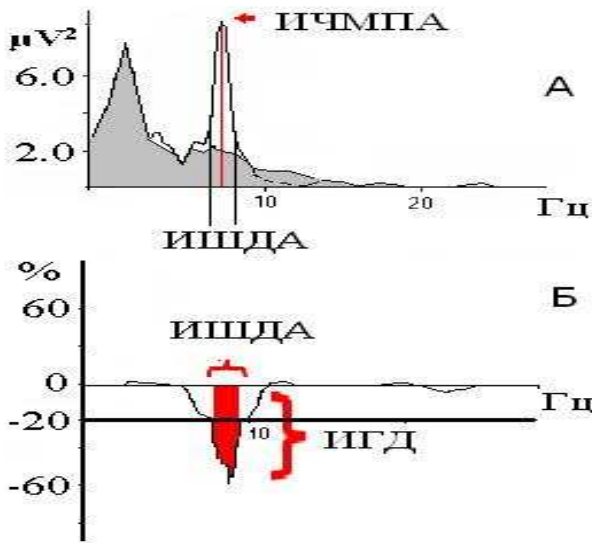


Рисунок 2.4.1. А - Спектральная мощность ЭЭГ в состоянии закрытых (поле белого цвета под спектральной кривой) и открытых глаз (поле серого цвета под спектральной кривой) Б - Изменение мощности при открывании глаз в % по отношению к уровню при закрытых глазах. ИЧМПА - индивидуальная частота максимального пика альфа, ИГД - индивидуальная глубина десинхронизации, ИШДА - индивидуальная ширина диапазона альфа

СУ - скорость затухания реакции на открывание глаз по параметрам индивидуальной ширины альфа-диапазона (ИШДА) и индивидуальной глубины десинхронизации (ИГД) измерялась в последовательные промежутки времени после открывания глаз: 0-4 с; 5-9 с; 10-14 с и 15-19 с. Затем подсчитывался тангенс угла наклона кривой зависимости измеряемого параметра от времени [Небылицын, 1963].

Анализ сегментной структуры альфа-активности (структуры альфа-веретен) проводился согласно методике, разработанной Капланом А.Я. и соавторами [Каплан и др.2002]. Процедура сегментации заключалась в автоматической детекции квазистационарных периодов с последующим вычислением собственно сегментных характеристик анализируемой записи ЭЭГ: средней амплитуды веретена (А); длительности веретена (Т); крутизны межсегментного перехода (S); коэффициента вариабельности амплитуды в сегменте (CV)

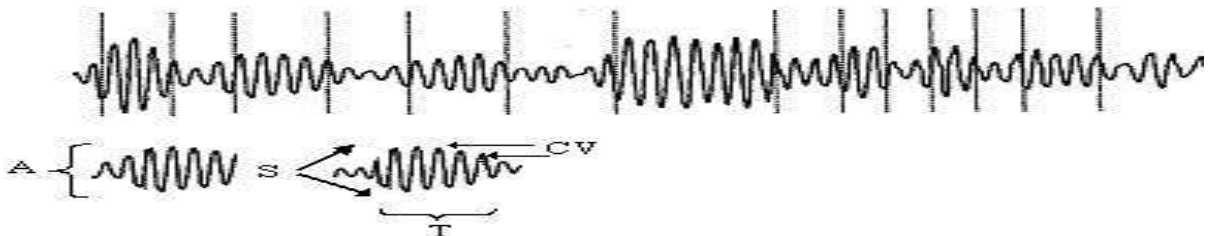


Рисунок 2. 4. 2. – Параметры структуры альфа-веретен: длительность (Т), вариабельность амплитуды (CV) крутизна нарастания (S) и средняя амплитуда сегмента (А) (Каплан А.Я.1998)

2.5. Процедура одновременного Альфа-ЭЭГ стимулирующего и ЭМГ понижающего биоуправления. проводилась в привычной для студентов классной комнате во время исполнительской практики с помощью специального программно-компьютерного оборудования БОСЛАБ¹..

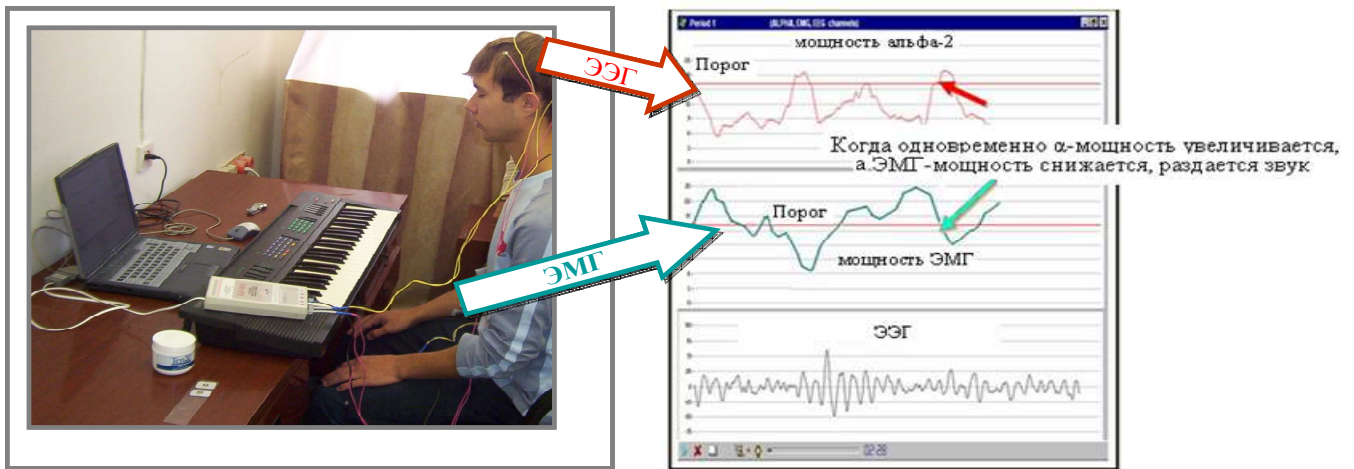


Рисунок 2.5.1. Процедура биоуправления: слева - регистрация ЭЭГ и ЭМГ сигналов, справа экранное представление мощности в индивидуальном альфа-2 диапазоне ЭЭГ(линия красного цвета) и интегральной мощности ЭМГ(линия зеленого цвета) во время сеанса биоуправления.

ЭЭГ сигнал, зарегистрированный с помощью биполярных электродов от точек F3-O1 и F4-O2 по системе «10-20%», оцифровывался с частотой 120 Гц и преобразовывался в графическое изображение - красную линию, отражающую динамику уровня ЭЭГ мощности в индивидуальном альфа-2 диапазоне. Электромиографический сигнал оцифровывался с частотой 700 Гц и также преобразовывался в графическое изображение линии синего цвета. Прямые линии, соответствующие уровню усредненных значений мощности индивидуального альфа-2 диапазона ЭЭГ в обоих биполярных отведениях и ЭМГ, зарегистрированных перед сеансом биоуправления, служили пороговыми уровнями. Превышение мощности альфа-2, одновременное со снижением амплитуды ЭМГ относительно порогового уровня, сопровождалось звуковым сигналом - «аплодисментами» (рис.2.5.1.). Перед испытуемым ставилась цель как можно чаще и дольше слышать «аплодисменты» во время исполнительской практики и запоминать ощущения, которыми они сопровождалась.

Во время сессии биоуправления наблюдались периоды «успешного тренинга», когда повышение мощности альфа-2-ритма сопровождалось одновременным снижением интегральной мощности ЭМГ. Эффективность или «коэффициент обучаемости или тренируемости» единичной сессии биоуправления рассчитывался по соотношению длительности периодов «успешного тренинга» к общей продолжительности сессии [Egner & Gruzelier, 2002].

2.6. Математическая обработка материала производилась статистическими методами с помощью стандартных компьютерных программ STATISTICA-4 Base и SPSS, Microsoft Excel. Для нормализации данных показатели мощности и процентные величины перед статистической обработкой логарифмировали. Для того, чтобы установить влияние группировочного признака на результативный

¹ Программно-аппаратный комплекс «БОСЛАБ», регистрационное удостоверение Минздрава РФ №29/03010300/0231-00 от 28.04.2000г. Лицензия на право ведения образовательной деятельности в сфере профессионального образования № 24Н-0276 от 31 марта 2000г.

признак, проводили дисперсионный анализ ANOVA/MANOVA, при котором применялась коррекция значений статистической значимости по методу Гринхауза-Гейссера. Апостериорные множественные сравнения (post hoc) в лонгитюдных и повторных исследованиях проводились с использованием критерия Шеффе. С целью определения тех различий, которые наилучшим образом разделяли совокупности между собой, был применен пошаговый дискриминантный анализ с включением. Воспроизводимость измеряемых переменных в «тест – ретест» исследованиях, рассчитывалась по внутриклассовым коэффициентам корреляции (ICC) и сравнением повторных измерений [Altman and Bland, 1983].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Разработка методов идентификации индивидуальных характеристик альфа-активности проводилась в однородной по возрасту (26-41 год) выборке здоровых 96 мужчин (все немусыканты). Для выяснения вопроса, в каких условиях должен быть измерен параметр индивидуальной частоты максимального пика альфа-активности (ИЧМПА), чтобы он отвечал требованиям к понятию эндофенотипического признака, устанавливалось, какой из топографических и функциональных показателей ИЧМПА будет в наибольшей степени инвариантен, воспроизводим при повторных измерениях и иметь нормальное распределение.

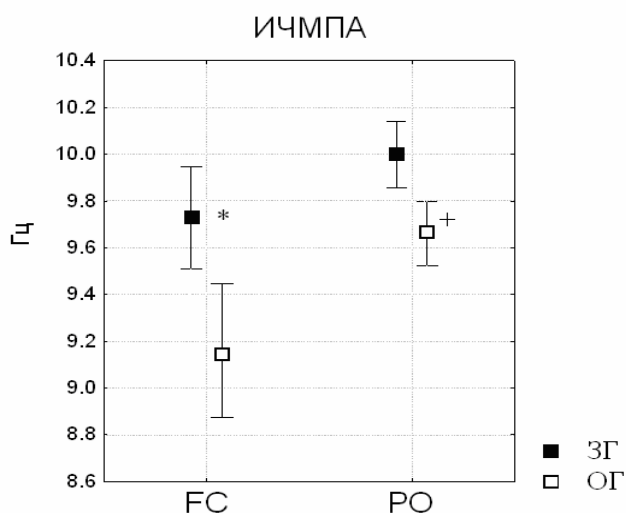


Рисунок 3.1.1. Средние значения и стандартные отклонения индивидуальной частоты максимального пика альфа (ИЧМПА) в передних (FC) и задних (PO) отведениях в состоянии открытых (ОГ-белые квадратики) и закрытых (ЗГ-черные квадратики) глаз. Обозначения: + $p < 0.05$ – различия в передних и задних областях мозга; * $p < 0.05$ – различия в состоянии закрытых и открытых глаз.

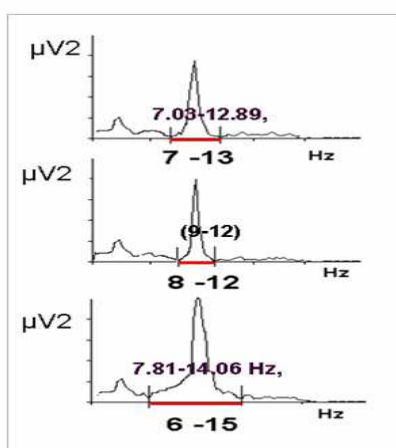
Оказалось, что ИЧМПА по средним значениям не отличалась в правом и левом полушарии ($F(1,190)=0.23, p > 0.05$) во фронто-центральных и теменно-затылочных областях ($F(1,190)=1.16, p > 0.05$), но вариабельность параметра ИЧМПА во фронто-центральных была больше, чем в теменно-затылочных областях, а в условиях открытых больше, чем закрытых глаз (рис.3.1.1). "Тест-ретест" исследование показало, что средние значения индивидуальной частоты максимального пика (ИЧМПА), зарегистрированное в передних и задних областях в состоянии открытых и закрытых глаз не изменяются через 14-15 дней при повторном измерении ($F=0.41, p > 0.5$) но уровень внутриклассовых коэффициентов корреляции показателей ИЧМПА в состоянии закрытых глаз для передних областей оказался ниже достоверного ($ICC=0.88, p < 0.001$ для теменно-затылочной и $ICC=0.49, p > 0.05$ для фронто-центральной области). Оценка вида распределения ИЧМПА по коэффициентам асимметрии и эксцесса также представило доказательства соответствия нормальности распределения ИЧМПА в теменно-затылочной области

($A=0.087$, $\varepsilon=1.209$) и не соответствия этому критерию во фронто-центральных ($A=0.229$, $\varepsilon=1.712$). Таким образом, было установлено, что наибольшая инвариантность, наибольшая воспроизводимость и наибольшая нормальность ИЧМПА проявляется в теменно-затылочной области в состоянии физиологического покоя с закрытыми глазами, что дает основание считать этот признак эндофенотипическим и использовать медиану его распределения равную 9.98 Гц как критерий для разделения испытуемых на две группы: НЧ - с низкой (ИЧМПА < 9.98 Гц) и ВЧ - высокой альфа-частотой (ИЧМПА \geq 9.98 Гц)

На следующем этапе предстояло выяснить, зависит ли уровень других феноменологических характеристик альфа-активности (реактивности на зрительную стимуляцию и способности к авторитмичности) от индивидуально-типологических частотных различий?

При открывании глаз сдвиг частоты альфа-пика (Δ ИЧМПА), который отражает изменение активации [Kilner et al., 2005], происходит вправо или влево в более широком частотном диапазоне у ВЧ, чем НЧ испытуемых (табл.3.1.1). На основании этого, было предположено, что диапазон частот, включенных в реакцию активации (десинхронизации альфа-осцилляций на открывание глаз [Barry et al., 2007]), в группе ВЧ будет также шире, чем в группе НЧ.

Первоначальное сравнение альфа-активности в разночастотных группах по используемым ранее характеристикам: мощности, когерентности, уровню микроструктурных показателей альфа-сегментов в стандартном 8-12 Гц альфа-диапазоне не обнаружило межгрупповых различий ни по одному из этих параметров [Базанова и др., 2004]. Это показалось удивительным, поскольку сама частота максимального пика, отражая уровень мозговой активности [Hooper, 2005], предполагает различия в нейрональных функциях. Однако, в то время мощность, когерентность и показатели альфа-веретена рассчитывались для некоего неиндивидуализированного стандартного диапазона, устанавливаемого на основании конвенционных соглашений, а не теоретических обоснований (рис.3.1.2) [Kaiser 2001, Doppelmayr et al, 1998].



Каплан и др, 2001,2003; Ray & Cole, 1985.

de Toffel & Autret, 1991; Jensen et al 2002;
Kilner, 2005; Martinez et al 2004;

Etevenon et al, 1990; Moretti et al 2004

Рисунок 3.1.2. Варианты значений ширины альфа-диапазона, используемых в данных литературы. Обозначения: по оси ординат – мощность (μV^2), по оси абсцисс – частота (Гц),

Такой подход, несмотря на удобство в вычислительном отношении затенял реальный вклад различных осцилляторных систем в исследуемые физиологические процессы [Oldenberger & Schwibbe, 1980; Thatcher et al 2008], а потому, по

выражению Р.В.Тэтчер, «требовал пересмотра с учетом функциональных характеристик» [Thatcher et al., 1997]. Возник вопрос, каков индивидуальный диапазон альфа-частот, в рамках которого проявляются функциональные свойства альфа-активности - реакция активации и авторитмичность [Pfurtscheller & Klimesch, 1991; Sterman et al., 1995,1996; Kaiser, 2006; Kirshfield 2005;Thatcher et al., 2008]?

Основываясь на сформулированном Г. Бергером определении альфа-ритма как синусоидальной активности, преобладающей в состоянии закрытых глаз, которая ослабевает или полностью исчезает при открывании глаз, мы предложили определять индивидуальную ширину частотного диапазона, в котором наблюдается реакция зрительной активации, как индивидуальную ширину – альфа-диапазона (ИШДА).

В “тест-ретест” исследовании было продемонстрировано, что ИШДА в теменно-затылочной области в состоянии покоя стабильный, высоко воспроизводимый показатель альфа-активности (ICC=0.82 и 0.79 соответственно в группе ВЧ и НЧ). Как и ожидалось, исходя из проявления реакции ИЧМПА на открывание глаз в более широком диапазоне у ВЧ испытуемых, чем НЧ ($t=4.89$, $p=0.001$), ИШДА оказалась также шире в группах ВЧ, чем НЧ ($t=6.76$, $p=0.001$) (рис.3.1.3). Измерение индивидуальной глубины десинхронизации в последовательные периоды после открывания глаз показало, что глубина альфа - десинхронизации была одинаковой в разночастотных группах, но затухала раньше в группе НЧ (tg угла наклона кривой зависимости от времени составил 0.008 ± 0.001), чем ВЧ испытуемых (-0.012 ± 0.001), то есть реакция активации была более стабильной в группе ВЧ, чем НЧ ($t=4.67$, $p=0.004$).

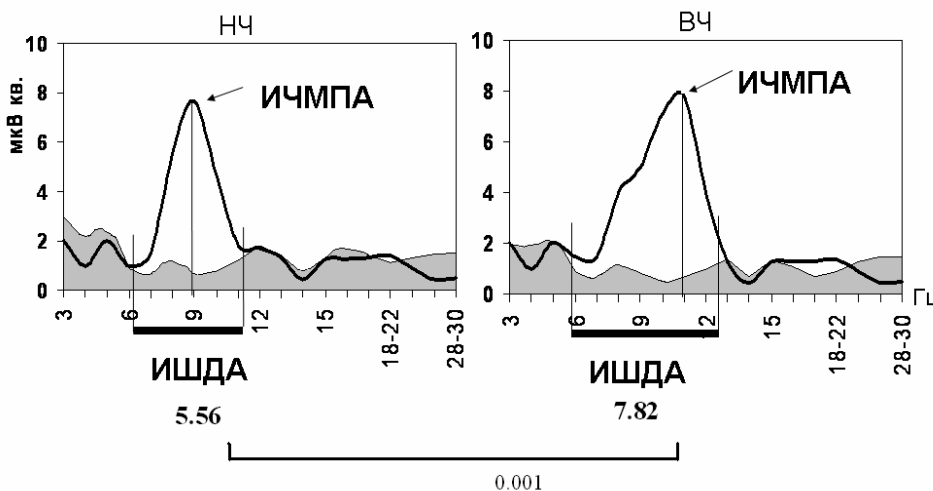


Рисунок 3.1.2
Усредненные спектры ЭЭГ в состояниях закрытых (белое поле под спектральной кривой) и открытых (серое поле) глаз (в течение первых 5 секунд) в группах с низкой (НЧ) и высокой (ВЧ) альфа-частотой. Обозначения: ИШДА - индивидуальная ширина альфа-диапазона, ИЧМПА - индивидуальная частота

максимального альфа-пика. горизонтальны линия – сравнение ИШДА

Таким образом, в результате сравнения индивидуальных характеристик альфа-активности в разночастотных группах было установлено: (1) реактивность индивидуальной частоты максимального пика альфа-активности на зрительную стимуляцию происходит в более широком частотном диапазоне и быстрее затухает в ВЧ, чем НЧ группе (2) реактивность амплитуды ЭЭГ на зрительную стимуляцию происходит в более широком частотном диапазоне и медленнее затухает в ВЧ, чем НЧ группе (3) показатели вариабельности амплитуды и крутизны нарастания альфа-веретена выше в ВЧ, чем НЧ группе.

Вновь введенная нами характеристика альфа-активности – ИШДА в обеих разночастотных группах была обратно пропорциональна скорости угасания реакции активации ($r < -0.37, p < 0.005$) и прямо пропорциональна абсолютной величине изменения (сдвигу) ИЧМПА в ответ на открывание глаз ($r > 0.68, p < 0.05$). В группе ВЧ отмечалась положительная корреляция индивидуальной ширины альфа-диапазона с частотой верхней границы и крутизной нарастания амплитуды, а в группе НЧ – с вариабельностью амплитуды альфа-веретена ($r > 0.59, p < 0.001$) (рис.3.1.3).

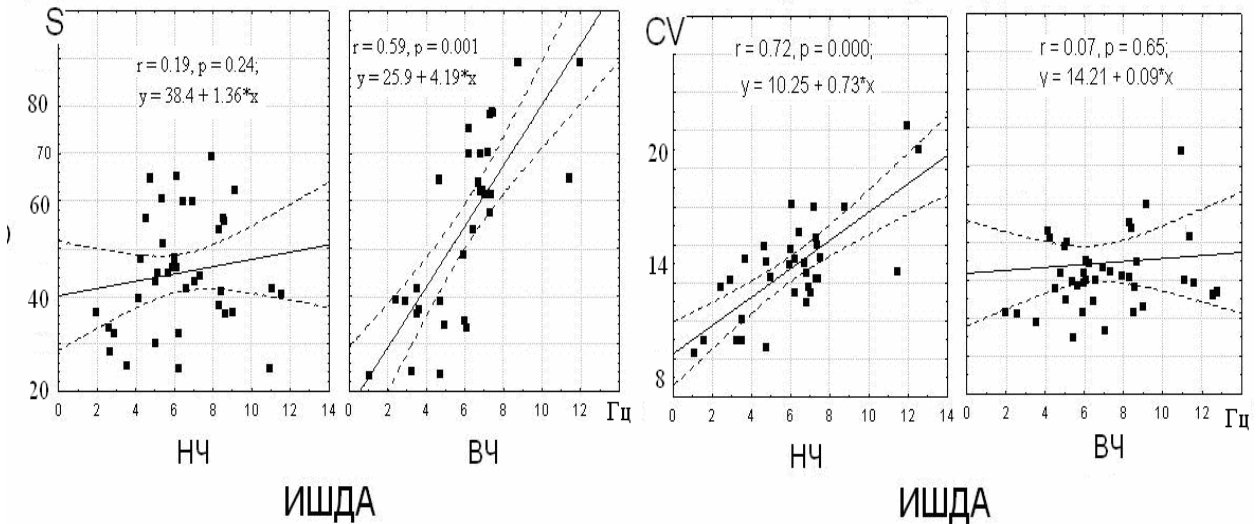


Рисунок 3.1.3. Взаимосвязь между шириной альфа диапазона (ИШДА- Гц) и крутизной нарастания (S) и вариабельностью амплитуды альфа-веретена (CV – в усл. единицах). Обозначения: группа НЧ с низкой и ВЧ- высокой частотой альфа; сверху плат представлены коэффициенты корреляции и уравнения регрессии

Данные положительные корреляции предполагают, что чем шире диапазон, в котором разворачивается реакция активации, тем большее количество высокочастотных нейрональных генераторов в группе ВЧ и большая вариабельность альфа-частотных генераторов в группе НЧ включается в реакцию активации. Как указывалось выше, сила реакции активации, оцениваемая по глубине десинхронизации, была одинаковой в группах с разной альфа-частотой, но имела различный характер взаимосвязи с другими альфа-параметрами: с вариабельность амплитуды альфа-сегмента положительный в группе НЧ, но отрицательный в группе ВЧ (рис.3.1.4). В группе ВЧ – ИГД была тем выше, чем выше частота верхней границы и шириной альфа-диапазона ($r \geq 0.39, p \leq 0.034$)

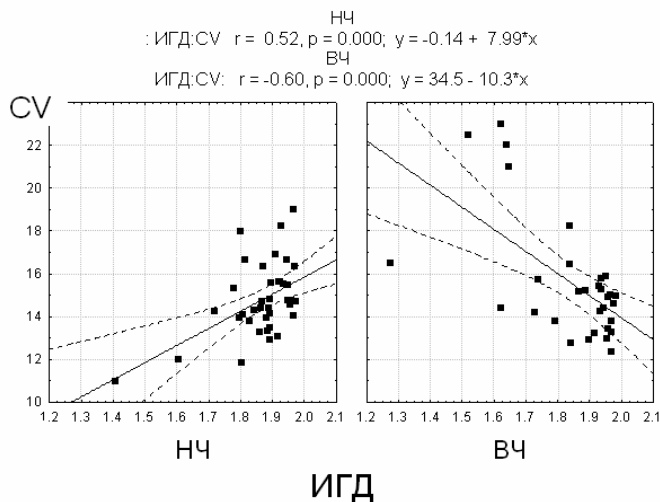


Рисунок 3.1.4. Результаты регрессионного анализа взаимосвязи между глубиной десинхронизации (ИГД (log %)) и вариабельностью амплитуды альфа-веретена (CV (%)). Обозначения те же, что на рис.3.1.3

Другой пример межгрупповых различий – взаимосвязь скорости затухания реакции активации с крутизной нарастания альфа-веретена: в НЧ группе чем больше крутизна нарастания амплитуды веретена, свидетельствующая о скорости образования и разрушения нейронального ансамбля, тем выше скорость сужения альфа-диапазона при открывании глаз, то есть менее стабильная реакция, но наоборот в ВЧ: чем быстрее образуются нейрональные ансамбли, тем более стабильна реакция активации (рис.3.1.4).

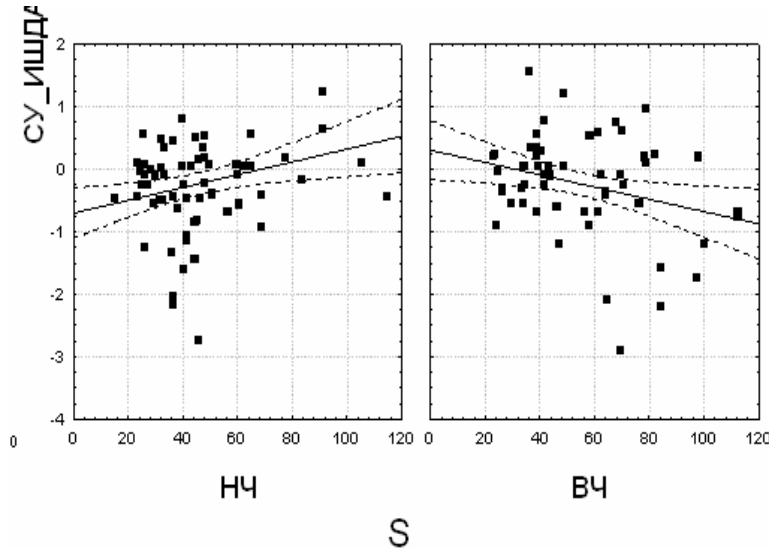


Рисунок 3.1.5. Результаты регрессионного анализа взаимосвязи между крутизной нарастания амплитуды альфа-веретена (S) и скоростью угасания (СУ) реакции на открывание глаз по ширине диапазона альфа (ИШДА).

В различающихся группах отмечался также различный характер взаимосвязи между ИЧМПА и длительностью альфа – веретена (свидетельствующей о времени жизни нейронального ансамбля) (рис.3.1.6). Такая «U-образная» зависимость свидетельствует о том, что чем ближе индивидуальные показатели альфа-частоты к средним, тем длиннее альфа-веретена - стабильнее нейрональный ансамбль. Помимо того, что этот результат согласуется с аналогичным, полученным группой А.Н.Лебедева [Мальцева и Маслобоев, 1999], он также, по-видимому, отражает различные механизмы формирования веретен альфа-осцилляций в различающихся группах

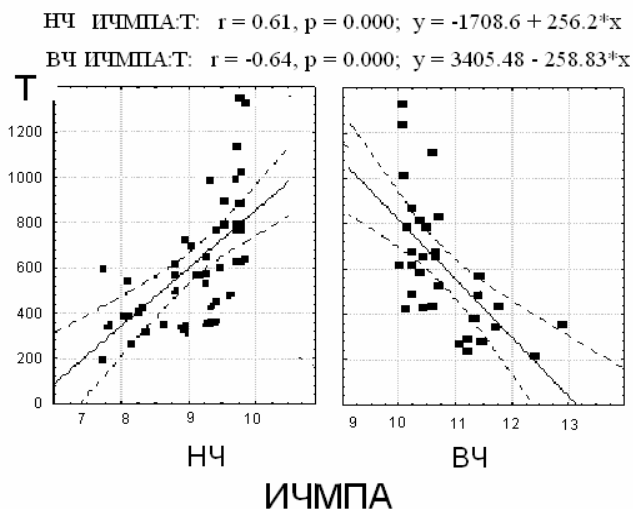


Рисунок 3.1.6. Результаты регрессионного анализа взаимосвязи между индивидуальной частотой максимального альфа-пика (ИЧМПА) и длительностью альфа-веретена (Т); Обозначения: НЧ и ВЧ – высоко- и низкочастотная группы, вверху приведены коэффициенты корреляции и соответствующие уравнения регрессии

Таким образом, на основании результатов регрессионного и сравнительного анализов установлены различия между группами с высокой и низкой частотой

альфа-активности как по показателям уровня реактивности и признаков веретенообразности, так и по характеру взаимосвязи между этими параметрами, что свидетельствует о различиях нейрофункциональных механизмов мозговых процессов. На основании этого было предположено, что разночастотные отличия взаимосвязей между характеристиками альфа-активности будут отражаться и в различии психометрических признаков когнитивной деятельности.

3.2. Взаимосвязь индивидуальных показателей альфа-активности с психометрическими характеристиками

Настоящее исследование проводилось на той же выборке 96 мужчин немусыкантов, что и разработка методов измерения индивидуальных показателей альфа-активности (3.1.) Показатели академической успеваемости по предметам описательного характера (географии, ботанике, зоологии, анатомии, истории и др.), скорость и эргичность интеллекта (по тесту Русалова) и «беглость» выполнения невербальной креативной задачи (по тесту Торренса) были выше в группе ВЧ, чем НЧ ($t \geq 3.56$, $p \leq 0.005$). Кроме того, корреляционный анализ выявил положительную взаимосвязь между значениями ИЧМПА и длительностью существования альфа-веретена со средним баллом по предметам описательного характера, эргичностью интеллекта и беглостью выполнения креативных задач ($r \geq 0.43$, $p \leq 0.031$). В группах с различной альфа-частотой уровень дифференциальной аудио-, капно- и тактильной чувствительности не отличался ($p > 0.05$). Пластичность, эмоциональность интеллекта по тесту Русалова, а также гибкость и оригинальность выполнения заданий на невербальную креативность также не отличались ($p > 0.05$) в группах ВЧ и НЧ. Корреляционный анализ установил взаимосвязь ширины альфа-диапазона и вариабельности амплитуды альфа-веретена – с оценками по гуманитарным предметам (литературе, музыке, рисованию), пластичностью интеллекта по тесту Русалова, суммарным коэффициентом невербальной креативности ($r \geq 0.52$, $p < 0.002$) (рис.3.2.1)

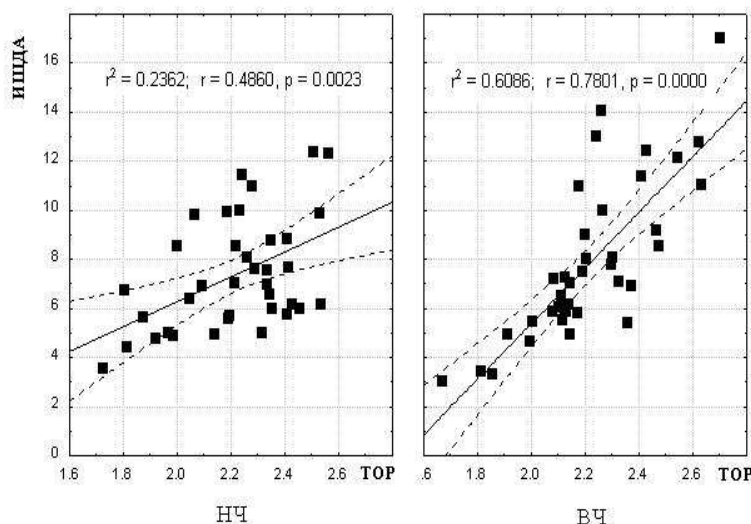


Рисунок 3.2.1.

Взаимосвязь между индивидуальной шириной альфа – диапазона (ИШДА) (Гц) и суммарным коэффициентом невербальной креативности Торренса (Тор) (усл.ед.). Обозначение те же, что на рис.3.1.3

Было также установлено, что индивидуальные показатели ширины альфа диапазона, частоты максимального пика, глубины десинхронизации и стабильности реакции активации, крутизны нарастания и вариабельности амплитуды альфа-веретена положительно взаимосвязаны с успешностью выступления на конкурсах, соревнованиях ($r \geq 0.32$, $p < 0.034$).

Результаты отдельного корреляционного анализа в группах ВЧ и НЧ показали, что в обеих группах индивидуальная ширина альфа-диапазона была положительно взаимосвязана с коэффициентом Торренса и субфактором «Гибкость» (рис.3.2.1).

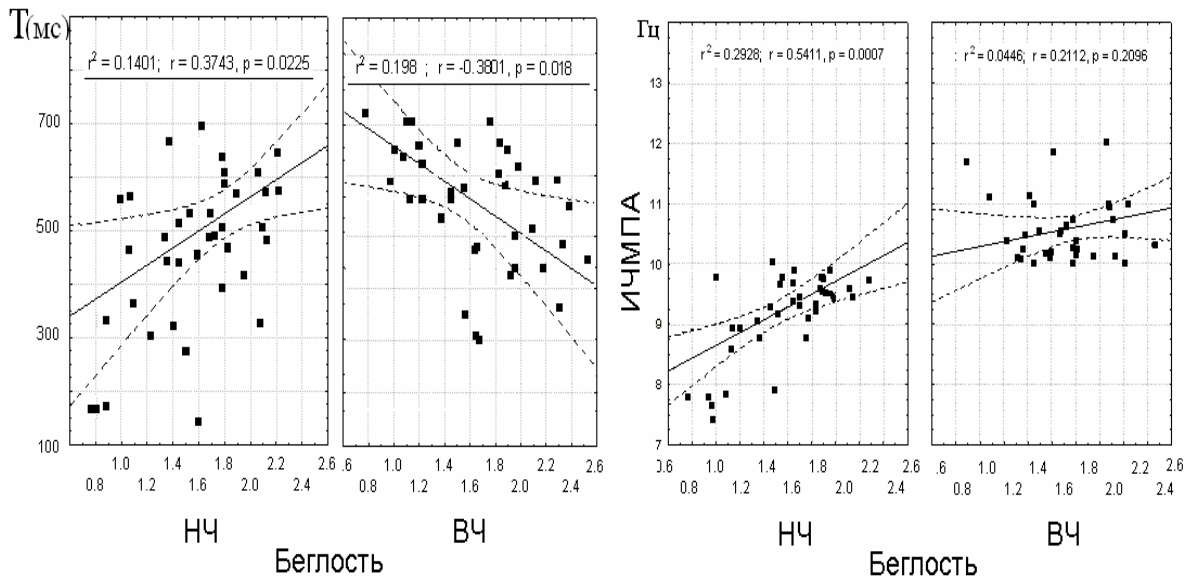


Рисунок 3.2.2. Взаимосвязь между длительностью альфа-веретена (Т), индивидуальной частотой максимального пика (ИЧМПА) и субфактором БЕГЛОСТЬ теста Торренса в группах с низкой (НЧ) и высокой (ВЧ) альфа-частотой.

Субфактор «Беглость» выполнения невербальных креативных задач ассоциировал положительно с ИЧМПА и с длительностью альфа-веретена только у НЧ индивидуумов, а в группе ВЧ – корреляция либо отсутствовала (в случае ИЧМПА), либо носила отрицательный знак между длительностью веретена и беглостью (рис 3.2.2). Связь индивидуальной частоты пика альфа активности с беглостью выполнения когнитивных заданий подростками, у которых ИЧМПА ниже, чем у взрослых, была установлена ранее в лаборатории Дж. Любар [Angelaskis et al 2004]. Но чем обусловлено отсутствие корреляций беглости выполнения теста Торренса с ИЧМПА или даже отрицательная взаимосвязь между «беглостью» и стабильностью веретена в группе ВЧ?

Возможное объяснение этому феномену дает установленная нами выше отрицательная корреляция между ИЧМПА и длительностью веретена в группе ВЧ (рис.3.1.6). Отсутствие положительной взаимосвязи между беглостью выполнения когнитивного задания и ИЧМПА в высокочастотной группе служит одним из доказательств, что в разночастотных группах стратегия достижения успеха в решении креативных задач отличается. Об этом же говорит разный знак корреляции между оригинальностью выполнения теста Торренса и ИЧМПА: отрицательный в группе НЧ и положительный ВЧ (рис.3.2.3.).

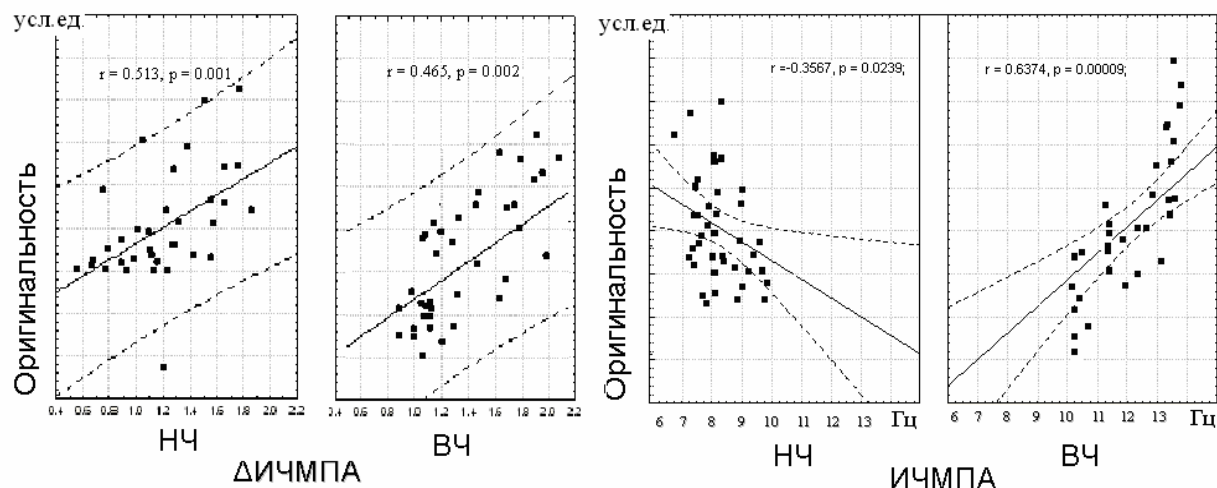


Рисунок 3.2.3. Взаимосвязь уровня субфактора ОРИГИНАЛЬНОСТЬ теста Торренса с модулем изменения индивидуальной частоты максимального пика при открывании глаз (ΔИЧМПА) и индивидуальной частотой максимального пика (ИЧМПА) в группах с низкой (НЧ) и высокой (ВЧ) альфа-частотой.

Зависимость степени “Оригинальности” выполнения креативных задач (рис.3.2.3) от частоты максимального пика альфа-активности и зависимость длительности альфа-веретена от ИЧМПА, имеющая такой же колоколообразный вид (3.1.6) предполагают одну и ту же закономерность. Действительно, чем в большей степени частота отклоняется от среднестатистических значений, тем короче время существования нейронального ансамбля и, соответственно, тем большая вероятность новых вариантов нейрональных взаимодействий - новых подходов к решению данной задачи. По-видимому, для рождения оригинальной идеи должны быть созданы некоторые нестандартные условия переработки информации [Dietrich 2004, 2008]. Возможно, именно наиболее низкая и наиболее высокая частота максимального пика альфа-активности лежат в основе нетривиальности мышления. Это предположение в определенной степени подтверждается данными других авторов [Русалов и Наумова 1999; Davidson 1995; Голубев и др.2006; Fink & Neubauer 2006, 2008] о вовлечении в эффективную креативную деятельность как низко-, так и высокочастотных диапазонов электроэнцефалограммы.

Таким образом, было установлено, что характер взаимосвязи индивидуальных характеристик альфа-активности с показателями невербальной креативности и формально-динамическими свойствами индивидуальности отличается в ВЧ и НЧ группах: (1) индивидуальные характеристики частоты максимального пика и длительности альфа-сегмента (стабильности нейронального ансамбля) положительно взаимосвязаны с эргичностью интеллекта и беглостью выполнения заданий на невербальную креативность только в группе НЧ, (2) ширина альфа-частотного диапазона и вариабельность амплитуды веретена положительно коррелируют с показателями пластичности интеллекта и гибкости при выполнении креативных задач в обеих группах; (3) оригинальность решения невербальных задач обратно пропорциональна индивидуальной частоте пика альфа-активности в группе НЧ, но прямо пропорциональна в группе ВЧ.

Следующим вопросом нашего исследования было, каким образом проявляется обнаруженная частотная дифференцированность реактивности и авторитичности

нейрональных процессов и, связанные с ней различия в поведенческих характеристиках, при влиянии возраста, пола и нейрогуморального статуса.

3.3. Влияние возрастного и гендерного факторов на индивидуальные характеристики альфа-активности.

Испытуемые 8 возрастных категорий и обоих полов были разделены на подгруппы ВЧ и НЧ согласно медианам распределений ИЧМПА (таблица 3.3.1).

Таблица 3.3.1 Количество (n) испытуемых в альфа-частотных группах мужчин и женщин

Пол	Альфа частота	количество испытуемых в группе							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		3-6	7-10	11-П	П-20	21-25	26-40	41-50(К)	51(К)-78
мужчины n=302	НЧ (149)	4	21	17	19	21	33	19	15
	ВЧ (153)	5	23	17	21	22	35	17	13
женщины n=368	НЧ (182)	9	27	15	25	23	35	29	19
	ВЧ (186)	9	28	14	24	24	37	29	21

Обозначения: П – возраст полового созревания; К – возраст менопаузы у женщин

Сравнение разновозрастных групп показало, что индивидуальная частота максимального альфа – пика при закрытых и открытых глазах, ширина и частота верхней границы альфа-диапазона, вариабельность амплитуды альфа веретена увеличиваются ($F \geq 5.23$. $p \leq 0.005$), а спектральная плотность мощности в альфа-диапазоне при закрытых и при открытых глазах снижается ($F \geq 5.94$. $p \leq 0.005$) с возрастом в допубертатном периоде и не изменяется в зрелом и среднем возрасте как в ВЧ, так и НЧ группах и мужчин, и женщин (рис.3.3.1). При этом в допубертатном периоде возрастная динамика параметров реактивности на открывание глаз и характеристик альфа-сегмента отличалась в группах мальчиков и девочек (рис.3.3.1-3.3.3).

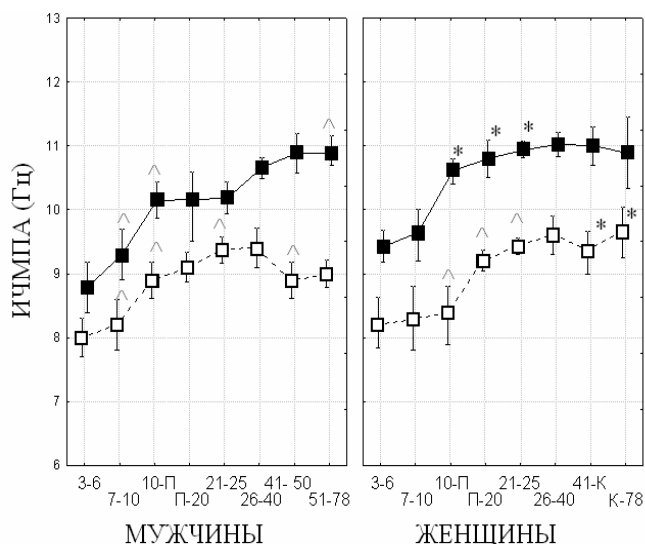


Рисунок 3.3.1. Средние значения и стандартные отклонения индивидуальной частоты максимального пика альфа - активности (ИЧМПА) в разных возрастных группах мужчин и женщин с высокой (ВЧ - черные квадраты) и низкой (НЧ - белые квадраты) альфа-частотой. Обозначения: П - возраст полового созревания, К - возраст менопаузы у женщин; достоверное ($p < 0.05$) влияние * - фактора ПОЛ, ^ - фактора ВОЗРАСТНАЯ ГРУППА

Регрессионный анализа показал, что у НЧ испытуемых увеличение с возрастом реактивности на зрительную стимуляцию связано с увеличением вариабельности частотных генераторов, использованных в ответе на открывание глаз и с повышением стабильности десинхронизации ($r \geq 0.56, p \leq 0.003$), а у ВЧ увеличение активации с возрастом происходит за счет увеличения глубины десинхронизации и расширения альфа-частотного диапазона при сдвиге частоты верхней границы вправо ($r \geq 0.49, p \leq 0.004$) (рис.3.3.2 и 3.3.3).

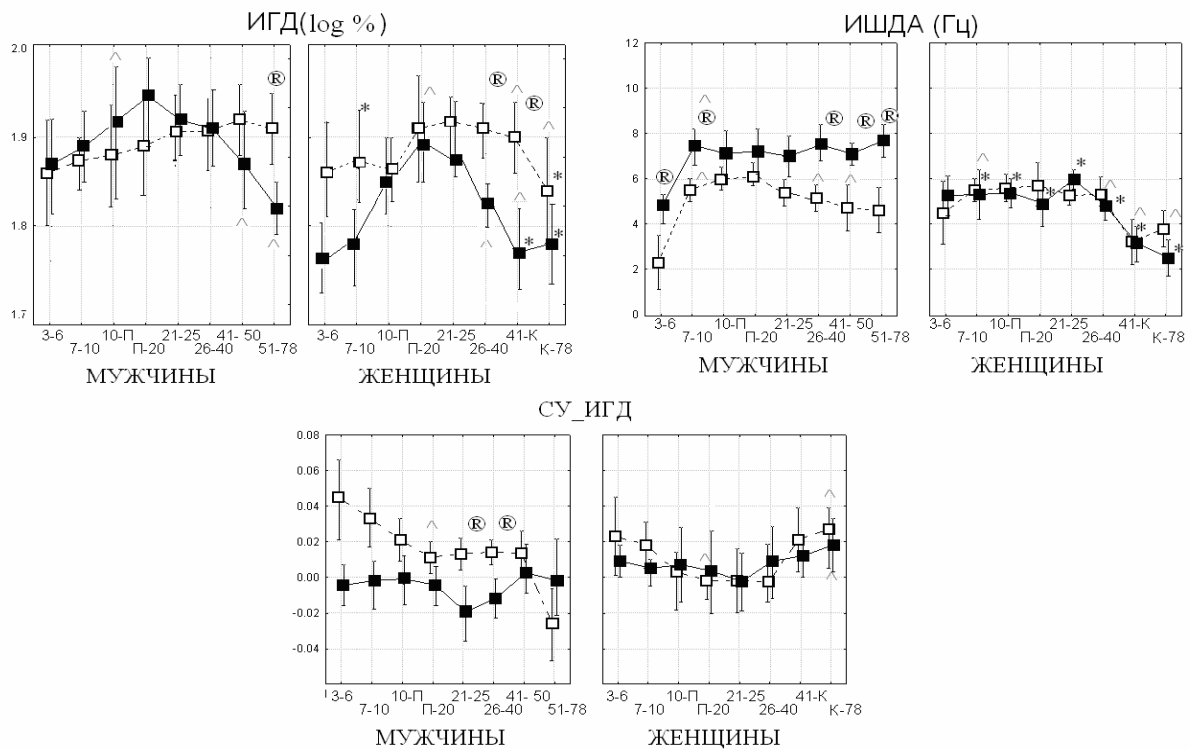


Рисунок 3.3.2. Средние значения и стандартные отклонения индивидуальной ширины диапазона альфа-активности (ИШДА), глубины десинхронизации (ИГД) и скорости угасания реакции активации (СУ_ИГД (усл.ед) в возрастных группах мужчин и женщин с высокой (ВЧ - черные квадраты) и низкой (НЧ-белые квадраты) альфа-частотой. Обозначения те же, что на рис.3.3.1 и @-значимое($p < 0.05$) влияние фактора ЧАСТОТА

Различный характер зависимости реакции активации от возраста в разных альфа-частотных группах, по-видимому, обусловлен генетически-детерминированными структурными и функциональными различиями нейрональной активности, что подтверждается доказательствами существования как минимум двух различных ЭЭГ паттернов активации, соответствующих низкой и высокой частоте максимального альфа-пика, в основе которых лежат принципиально разные механизмы реакции на зрительный стимул представленными в работах Tenke и Кайзера и Мазачери и Дженсена [Tenke & Kaiser 2005; Mazaheri&Jensen,2008].

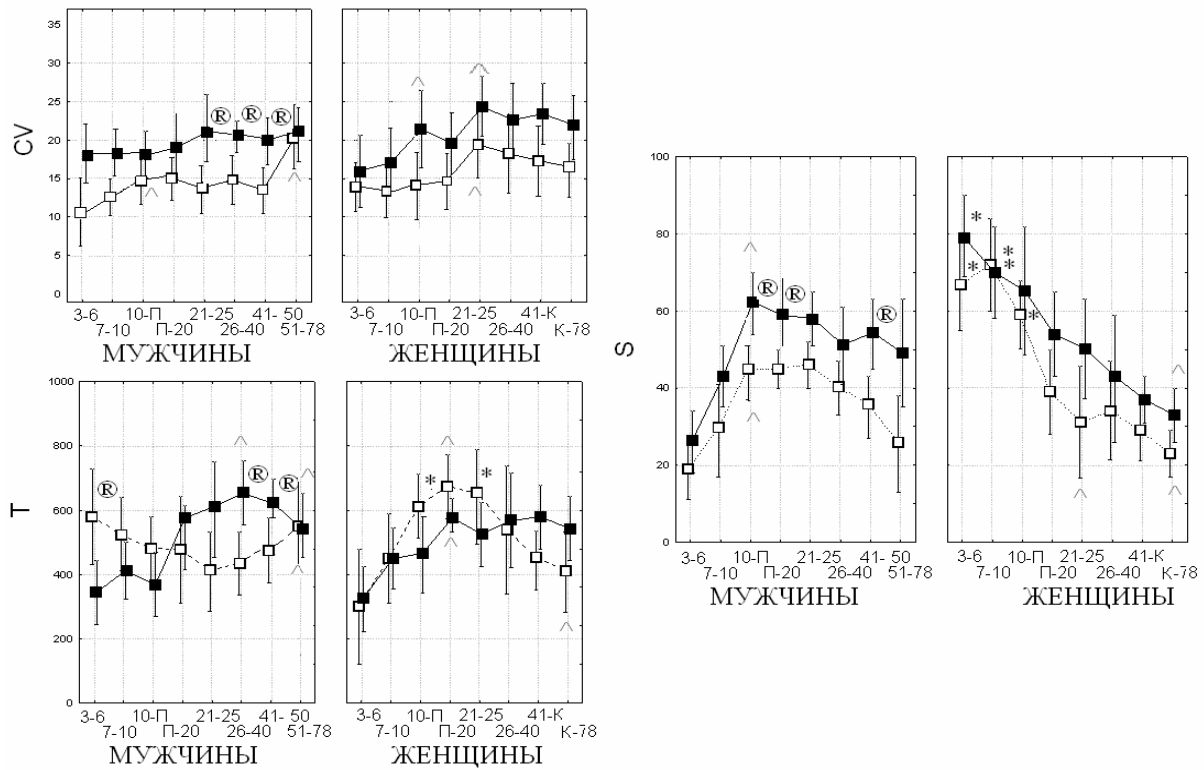


Рисунок 3.3.3 Средние значения и стандартные отклонения вариальности амплитуды (CV), длительности (T) и крутизны нарастания (S) альфа-веретена в разных возрастных группах мужчин и женщин с высокой (ВЧ - черные квадраты) и низкой (НЧ - белые квадраты) альфа-частотой. Обозначения те же, что на рисунке 3.3.2.

Результаты множественного регрессионного анализа предоставляют доказательства различного влияния возраста на развитие альфа-активности в разночастотных группах: в группе НЧ мальчиков в качестве наиболее вероятного предиктора возраста выступает вариальность амплитуды альфа-веретена ($F=7.65$), а в ВЧ - частота верхней границы альфа-диапазона и глубина десинхронизации ($F \geq 4.56$). Поскольку известно, что вариальность амплитуды альфа-сегмента отражает вариальность частотных генераторов, участвующих в образовании нейронального ансамбля и, соответственно, интенсивность фазовой модуляции [Oprisan et al., 2004; Thatcher et al., 2008], мы можем полагать, что рост навыков самоконтроля, характерный для допубертатного периода [Малых и Орехова, 1995] у НЧ мальчиков связан с увеличивающейся с возрастом вариальностью амплитуды альфа-веретена, а у ВЧ мальчиков, - с увеличением частоты верхней границы альфа-диапазона и глубины реакции активации.

Межгрупповые отличия возрастной динамики альфа-активности отмечаются также в период среднего возраста (51-78 лет): сила и стабильность реакции активации снижается у ВЧ, но увеличивалась у НЧ мужчин. В таблице 3.3.2, представлены данные возрастной динамики альфа-активности на разных этапах онтогенеза и в разных гендерных группах.

Таким образом, возрастная динамика альфа-активности зависит от индивидуального онтогенеза. В допубертатном периоде по мере взросления значения медианы индивидуальной частоты альфа-пика увеличиваются и вместе с тем также увеличиваются ширина альфа-диапазона, глубина и стабильность реакции активации, вариальность амплитуды и длительность альфа-веретена, а спектральная плотность альфа-мощности снижается. После полового созревания

средние значения показателей альфа-активности одинаковы в разных гендерных группах до 40 лет. В период среднего возраста (от 40 лет и старше) возрастная динамика альфа-активности выражена различно в ВЧ и НЧ группах, что, по-видимому обусловлено значительным влиянием не только биологических, но и социо-психологических факторов в этом возрасте.

Таблица 3.3.2. Влияние возраста на индивидуальные характеристики альфа-активности в группах с высокой (ВЧ) и низкой (НЧ) альфа-частотой (Обобщение результатов)

Показатель альфа-активности		Возрастной период	мужчины		женщины		
			НЧ	ВЧ	НЧ	ВЧ	
Индивидуальная частота максимального пика альфа ритма	ДП (3-П)	↑	↑	↑	↑		
	Зрелый (25-40 лет)	=	=	=	=		
	Средний (51-78 лет)	↓	=	=	=		
Реактивность на зрительную стимуляцию	Ширина альфа-диапазона	ДП (3-П)	↑	↑	=	=	
		Зрелый (25-40 лет)	=	=	=	=	
		Средний (51-78 лет)	↓	=	↓	↓	
	Глубина десинхронизации	ДП (3-П)	=	↑	=	↑	
		Зрелый (25-40 лет)	=	=	=	=	
		Средний (51-78 лет)	↑	↓	↓	↓	
	Стабильность реакции активации	ДП (3-П)	↑	=	↑	=	
		Зрелый (25-40 лет)	=	=	=	=	
		Средний (51-78 лет)	↑	↓	↓	↓	
	Характеристики альфа-веретена	Амплитуда	ДП (3-П)	↓	↓	↓	↓
			Зрелый (25-40 лет)	=	=	=	=
			Средний (51-78 лет)	=	=	↓	↓
Длительность		ДП (3-П)	↑	↓	↑	↑	
		Зрелый (25-40 лет)	=	=	=	=	
		Средний (51-78 лет)	↓	↑	↓	↑	
Вариабельность амплитуды		ДП (3-П)	↑	=	↑	↑	
		Зрелый (25-40 лет)	=	=	=	=	
		Средний (51-78 лет)	↑	=	=	=	
Крутизна нарастания		ДП (3-П)	↑	↑	↓	↓	
		Зрелый (25-40 лет)	=	=	=	=	
		Средний (51-78 лет)	↓	=	↓	↓	

Обозначения: ВЧ и НЧ – испытуемые с высокой и низкой частотой альфа-пика, ДП-допубертатный возрастной период, П – возраст полового созревания, ↓-снижение ↑ - увеличение показателя с возрастом, заштрихованные ячейки указывают на разнонаправленность возрастной динамики альфа-показателя в разночастотных группах.

3.4. Влияние нейрогуморального статуса на индивидуальные параметры альфа-активности у женщин.

В лонгитюдном исследовании приняли участие двадцать девять женщин в возрасте от 23 до 36 лет и, в качестве контроля, двадцать семь мужчин того же возраста. Психометрическое и электроэнцефалографическое обследование женщин проходило каждый второй день в течение двух менструальных циклов, а мужчин – дважды с интервалом в две недели. Для определения фазы менструального цикла

проводились измерения базальной температуры тела в соответствие со стандартными инструкциями [Аулик., 1990; Бабичев,1992]². Доовуляторными называли предменструальную, менструальную и фолликулярную, а постовуляторными – овуляторную и лютеиновую фазы цикла.

Динамика и абсолютные значения базальной температуры тела у женщин НЧ и ВЧ групп не отличались ($F < 1.32$; $p > 0.09$). Аналогично не отмечалось межгрупповых различий в динамике развития кривых зависимости дифференциальной чувствительности ото дня менструального цикла: как в ВЧ, так и в НЧ группах порог дифференциальной аудио-, пространственной и капночувствительности был наиболее низким на доовуляторных фазах цикла (1-8 и 27-30 дни) ($p < 0.05$ для коэффициентов Шеффе), а наиболее высоким на постовуляторных стадиях.

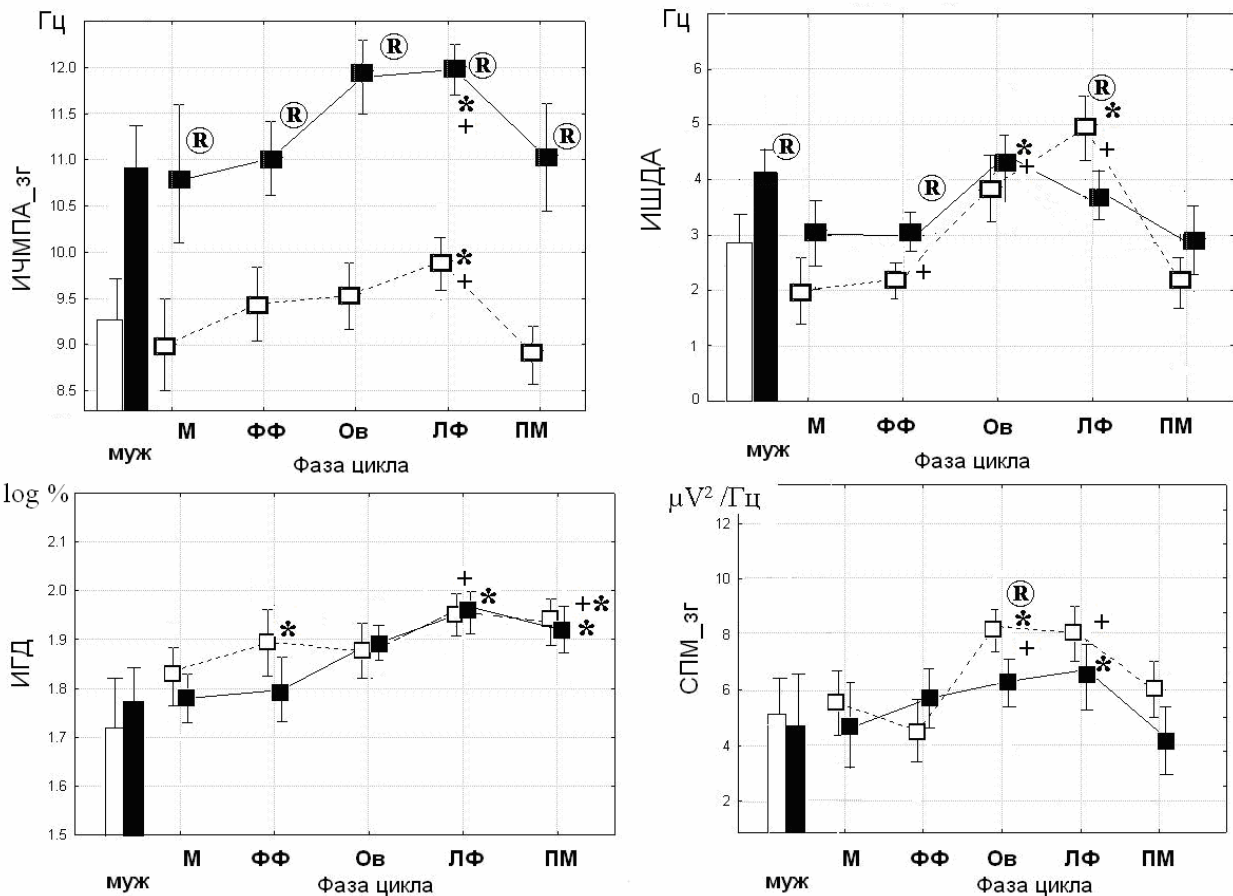


Рисунок 3.4.1. Индивидуальная частота максимального пика в состоянии закрытых глаз (ИЧМПА_зг), глубина десинхронизации (ИГД), ширина диапазона альфа-активности (ИШДА), и спектральная плотность мощности (СПМ_зг) в состоянии покоя при закрытых глазах. Обозначения: по оси абсцисс отложены фазы менструального цикла; белые квадратики и пунктирная линия – НЧ, а черные квадратики и сплошная линия – ВЧ группа. Столбиками представлены данные мужчин НЧ (белые столбики) и ВЧ (черные столбики) групп; $p < 0.05$: * по фактору ПОЛ. + - по фактору ФМ (фазы менструального цикла), ® - по фактору «Ч» (частоты альфа-пика)

² менструальная фаза (МФ) – с первого по пятый день (первым днем менструального цикла считался день начала кровотечений), фолликулярная (ФФ) – с шестого дня до повышения базальной температуры тела минус один день, овуляция (Ов) – день небольшого снижения и два дня повышения базальной температуры как минимум на 0.2°C, лютеиновая (ЛФ) – начало - через три дня после овуляции и конец - за три дня перед менструацией, предменструальная (ПМ) – три дня перед началом менструации

Апостериорные сравнения *post hoc* результатов лонгитюдного исследования женщин³, показали, что ИЧМПА при закрытых и открытых глазах, величина изменения ИЧМПА при открывании глаз, ширина альфа-диапазона, частота верхней границы альфа-диапазона, спектральная мощность в индивидуальном альфа-диапазоне в состоянии закрытых глаз, глубина десинхронизации, а также параметры альфа-веретена: длительность, крутизна нарастания, вариабельность амплитуды были наиболее высокими, а нижняя граница альфа-диапазона, спектральная мощность в состоянии открытых глаз, скорость угасания реакции десинхронизации – наиболее низкими на постовуляторных фазах в обеих альфа—частотных группах женщин ($p < 0.05$) (рис.3.4.1-3.4.2) Контрольные измерения у 27 мужчин тех же частотных групп дважды с периодом в 14-15 не обнаружили изменений ни по одному из изучаемых параметров альфа-активности в обеих альфа-частотных группах ($F < 0.93$, $p > 0.05$; $ICC \geq 0.72$, $p < 0.001$).

Несмотря на очевидное однонаправленное изменение альфа-показателей в ВЧ и НЧ группах при смене нейрогуморального статуса, механизм активации, вызванной увеличением концентрации гормонов, зависит от индивидуальной альфа-частоты: в НЧ группе активация связана с увеличением вариабельности амплитуды и расширением альфа-диапазона, в ВЧ – с увеличением амплитуды и частоты верхней границы альфа-диапазона.

Дискриминантный анализ показал, что спектральная плотность мощности в индивидуальной альфа-полосе и ширина альфа-диапазона-ИШДА ($F = 11.93$ и 6.59 соответственно для мощности и ИШДА) являются предикторами постовуляторных фаз цикла у женщин НЧ, а амплитуда альфа-веретена и ИЧМПА ($F = 10.93$ и 5.79 соответственно для амплитуды и ИЧМПА) – у женщин ВЧ группы.

Различная нейрогуморальная динамика альфа-реактивности в высоко и низко частотных группах женщин, наиболее вероятно связана с различным, зависимым от частоты генерации импульсов, влиянием эстрогенов и прогестерона на чувствительность нейрональных рецепторов [Chi Ping et al 2003; Kajta et al ., 2002, 2005, 2007].

Наиболее информативным альфа-признаком половых различий оказалась частота нижней границы альфа-диапазона в обеих альфа-частотных группах, когда женщины находятся на доовуляторной фазе ($F = 5.67$ и 4.79 соответственно в ВЧ и НЧ группах). В то же время абсолютная величина изменения частоты альфа-пика и глубина десинхронизации в ответ на открывание глаз являются предикторами половых различий, если женщины находятся на постовуляторной фазах цикла ($F = 7.12$ и 5.33 соответственно в ВЧ и НЧ группах).

Таким образом, увеличение концентрации половых стероидов вызывает с одной стороны однонаправленный рост альфа-активности в разночастотных группах, но с другой стороны увеличение альфа-активности на овуляторной и лютеиновой фазах менструального цикла обеспечивается разными механизмами: в НЧ группе за счет увеличения ширины альфа-диапазона, а в ВЧ – за счет увеличения амплитуды колебаний и глубины десинхронизации.

³ В исследование включались женщины только с нормальным овуляторным циклом – то есть с повышением базальной температуры тела на 12-15 день от начала менструации на 0.7-1 градус Цельсия [Гинекологическая эндокринология, 1980; Кулаков и др.1998]

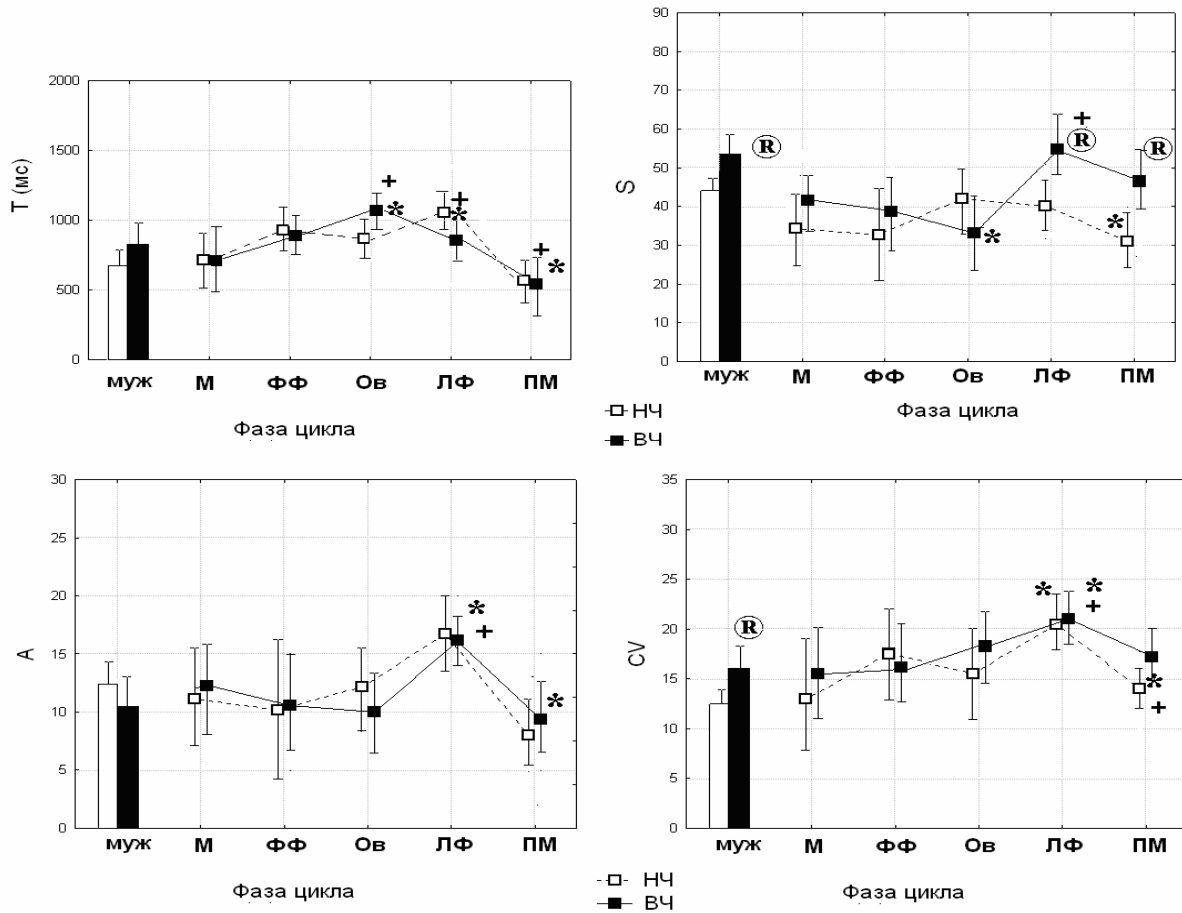
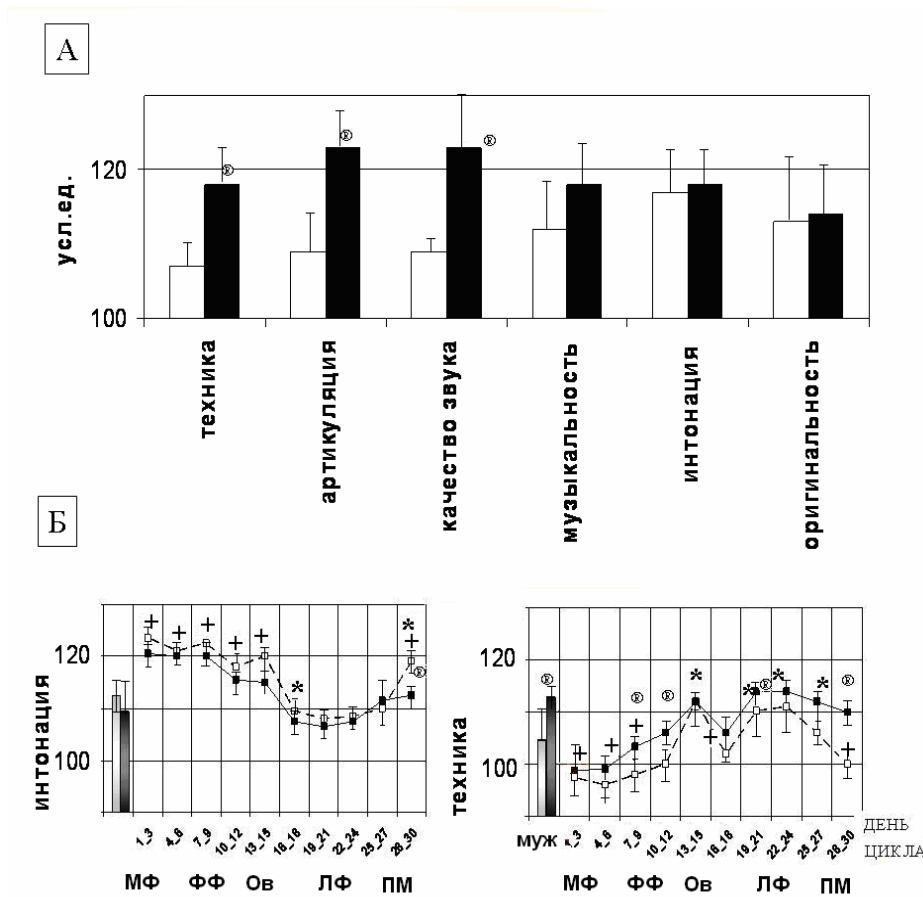


Рисунок 3.4.2. Изменение индивидуальных характеристик альфа-веретена: амплитуды (А), длительности (Т), варибельности (CV) и крутизны нарастания (S) амплитуды альфа-веретена в течение менструального цикла у женщин разных альфа-частотных групп. Обозначения: те же, что на рисунке 3.4.1.

3.5. Индивидуальные характеристики альфа-активности в зависимости от уровня сенсомоторной интеграции.

Уровень сенсомоторной интеграции (на модели музыкально-исполнительского мастерства (МИМ)) оценивался с помощью экспертных оценок исполнения музыки, показателей личностной и ситуативной тревожности, самоактуализации (мотивационной компетенции) во время исполнения музыки и коэффициента «Оптимальности музыкально-исполнительского движения» (к-ОМИД). К-ОМИД измерялся по соотношению процента изменения спектральной плотности мощности в индивидуальном альфа-2 поддиапазоне при закрытых глазах, к изменению ЭМГ - амплитуды фронтальной мышцы во время музыкально-исполнительского движения. Чтобы выяснить отличаются ли по уровню МИМ группы с высокой (ВЧ - 120 человек) и низкой (НЧ - 139 человек) частотой альфа-пика был проведен двухфакторный ANOVA по факторам: «ЧАСТОТА АЛЬФА ПИКА» («Ч» 2 уровня: НЧ и ВЧ) и ГРУППА (3 уровня: «муж» - мужчины, ФФ - женщины во время доовуляторных, ЛФ - женщины во время постовуляторных фаз менструального цикла). Сравнение студентов различных музыкально-исполнительских специальностей показало, что уровень МИМ по этим показателям

одинаков у студентов-музыкантов струнного, фортепианного, духового и народных инструментов отделений. Оказалось, что оценки за «технику», артикуляцию», «ритмичность» и «качество звука» были выше у студентов ВЧ, чем НЧ группы ($t > 4.56$, $p < 0.031$), но оценки за «музыкальность», «интонацию» и «креативность» при исполнении музыки были одинаковы в разночастотных группах ($t < 1.86$, $p > 0.06$) (рис.3.5.1 А). Кроме того, в женских группах экспертные оценки: «техника», «ритмичность», «качество звучания», «артикуляция» были выше на постовуляторных, чем доовуляторных фазах менструального цикла ($F > 6.79$, $p < 0.05$) (рис.3.5.1 Б).



Рисунок

3.5.1. А - Экспертные оценки за исполнение музыки у студентов - музыкантов-исполнителей мужского пола с низкой $n=39$ (белые столбики) и высокой $n=27$ (черные столбики) альфа-частотой.

Б - Сравнение экспертных оценок за технику и интонацию исполнения музыки у мужчин (столбики) и женщин $n=93$ (квадратики) в группах ВЧ (черные столбики и квадратики) и НЧ (белые квадратики и столбики). Обозначения те же, что на рис.3.4.1

Коэффициент «Оптимальности музыкально - исполнительского движения» был ниже у НЧ, чем ВЧ испытуемых ($t = 6.75$, $p = 0.003$), то есть движение сопровождалось увеличением интегральной мощности ЭМГ фронтальной мышцы и снижением ЭЭГ мощности в индивидуальном альфа-2 диапазоне больше у НЧ, чем ВЧ испытуемых (рис.3.5.2). При этом у женщин на доовуляторных фазах цикла исполнительское движение было менее оптимизировано ($t < -2.68$, $p < 0.005$), чем на постовуляторных: то есть во время движения в большей степени мощность альфа снижалась, а мощность ЭМГ увеличивалась (рис.3.5.2).

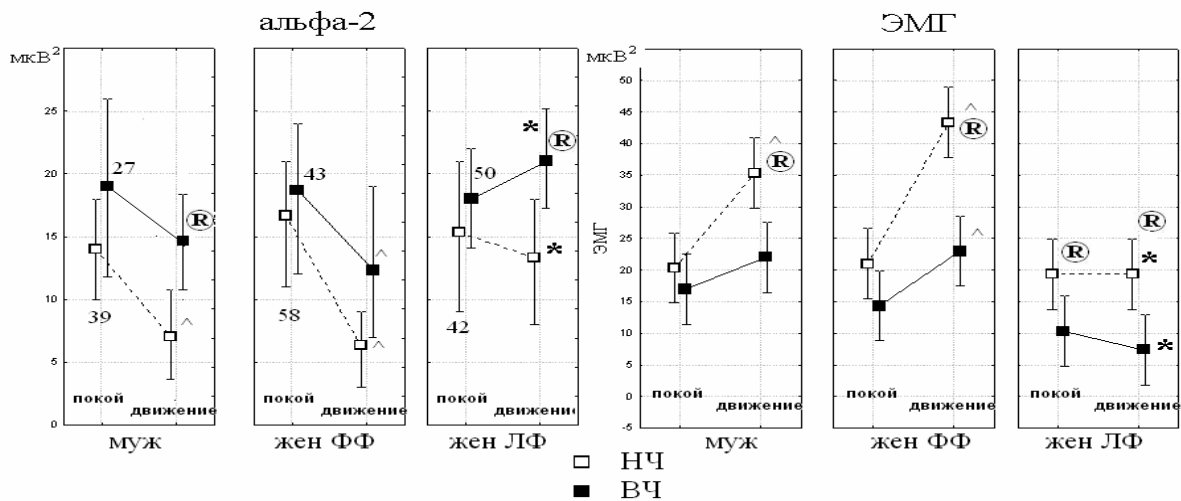


Рисунок 3.5.2. Мощность в индивидуальном альфа-2 диапазоне и амплитуда ЭМГ *m frontalis* при выполнении движения пальцами у студентов-музыкантов с низкой (белые квадраты) и высокой (черные квадраты) альфа-частотой. По оси ординат мощность (мкВ²). Обозначения: муж - мужчины, жен ФФ - женщины на довульторных, женЛФ - на постовульторных фазах менструального цикла. Цифрами рядом с квадратиками указано количество испытуемых в данной группе; Влияние фактора достоверно $p < 0.05$: ® Ч (альфа-частоты) * - ПОЛА, ^-СОСТОЯНИЕ (покой, движение)

Корреляционное исследование, проведенное только в мужских группах студентов музыкантов, разделенных по частоте альфа-пика, показало, что к-ОМИД, экспертные оценки за “технику”, “ритмичность” и “качество звука” при исполнении музыки и уровень самоактуализации коррелировали положительно с индивидуальной частотой максимального пика альфа-активности, длительностью веретена в НЧ группе и амплитудой альфа-осцилляций в ВЧ группе ($r \geq 0.34$, $p \leq 0.004$), но отрицательно с ЭМГ характеристикой напряжения фронтальной мышцы во время исполнения музыки в обеих группах ($r \leq -0.39$, $p \leq 0.003$). Показатели ширины альфа-диапазона ассоциировали с уровнем оценки за музыкальность и креативность при исполнении музыки ($r \geq 0.45$, $p \leq 0.001$)

При сравнении групп с разным уровнем музыкально-исполнительского мастерства [213 немусыкантов (Н), 235 “теоретиков” -музыкантов (ТМ) и 12 высокопрофессиональных мастеров - музыкантов (ММ)] оказалось, что ТМ- и ММ-женщины отличаются от немусыкантов-женщин более длительной лютеиновой фазой менструального цикла ($t = 6.76$, $p = 0.001$). Кроме того психофизиологические показатели порога дифференциальной чувствительности в группе ММ были наиболее низкими и не зависели от факторов ПОЛ ($F \leq 0.85$, $p > 0.05$) и ФАЗА МЕНСТРУАЛЬНОГО ЦИКЛА (post hoc $p > 0.05$) (рис.3.5.3.)

Наряду с высоким уровнем психометрических и психофизиологических показателей у мастеров музыкантов отмечались наиболее высокие значения характеристик альфа-активности: ширины альфа-диапазона, глубины десинхронизации и стабильности реакции активации, спектральной плотности мощности в альфа-2-диапазоне, варибельности амплитуды и длительности альфа-веретена среди трех групп ($F > 6.11$, $p < 0.03$ для разных показателей альфа-активности).

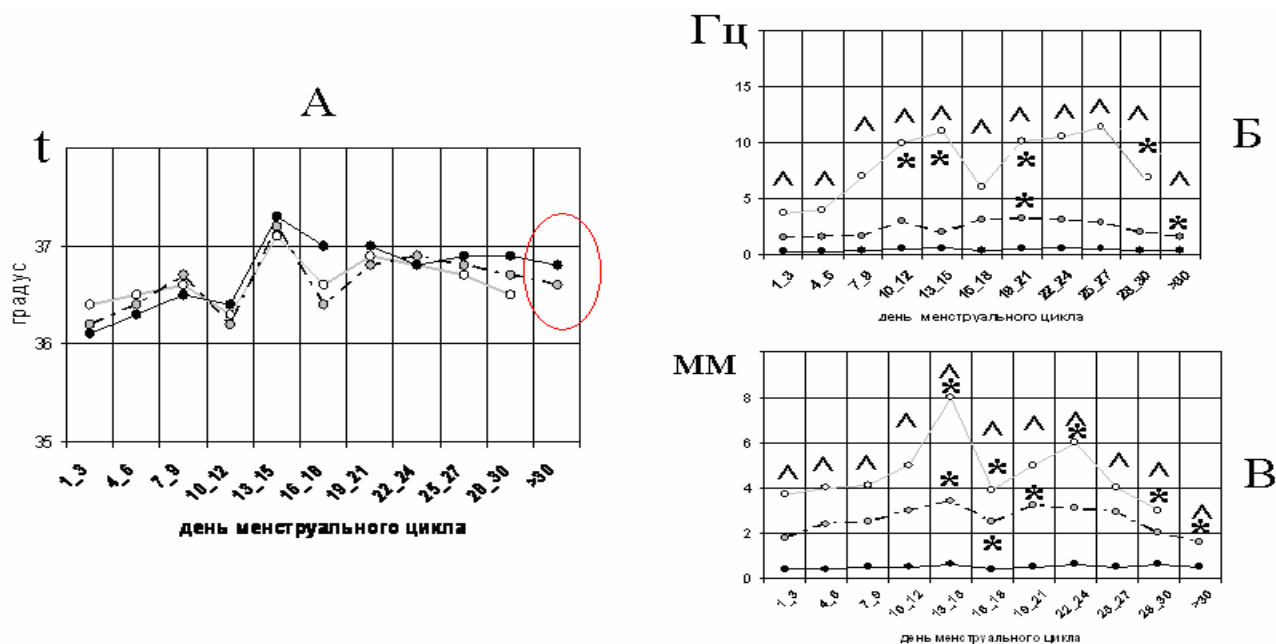


Рисунок 3.5.3 Кривая изменения базальной температуры тела (А) в течение менструального цикла не отличалась у женщин музыкантов от аналогичной у нем музыкантов в период с первого по 26 день, затем у нем музыкантов температура снижалась, а у 45 из 148 женщин группы музыкантов-теоретиков и у всех семи женщин мастеров музыкантов лютеиновая фаза цикла продлилась дольше, достигая в среднем 45.6 ± 15.7 дней в группе ММ. Справа представлены показатели порогов звукового (Б), тактильного (В) различения в тех же трех группах. Обозначения: белые кружки и серая линия – нем музыканты, серые кружки и пунктирная линия – теоретики музыканты, черные квадратики и сплошная линия – мастера музыканты. Уровень достоверности различий $p < 0.05$: ^ - по фактору МИМ. * - по фактору МФ.

Возможной причиной сочетания наиболее длительных веретен и наибольшей вариабельности амплитуды, которое наблюдается в группе мастеров-музыкантов, может быть влияние целенаправленного одновременного тренинга процессов контроля за выполнением музыкального замысла (это отражается в увеличении вариабельности амплитуды веретена [Klimesh, 2007]) и торможения ненужных в исполнении музыки других движений (отражается в увеличении амплитуды [Klimesh, 2007] и длительности веретена и снижении ЭМГ показателей). Поскольку только в группе ММ - высокопрофессиональных музыкантов все характеристики альфа-активности не зависели от смены нейрогуморального статуса и пола, можно предположить превалирующую роль тренинга в формировании альфа-статуса, соответствующего высокому уровню сенсомоторной интеграции.

На рисунке 3.5.4 видно, что во время исполнительского движения альфа-2 мощность в группах теоретиков-музыкантов и нем музыкантов падает, а в группе ММ растет, в то время как мощность ЭМГ наоборот в группах Н и ТМ растет, а у мастеров музыкантов падает. Коэффициент «Оптимальности исполнительского движения» (к-ОМИД) у ММ (2.43 усл.ед) в несколько раз выше, чем ТМ (0.56 усл.ед) и Н (0.23 усл.ед) ($F \geq 12.3$, $p \leq 0.001$). Таким образом, повышение высокочастотной альфа-мощности, одновременное со снижением напряжения мышц во время исполнения музыки является наряду с высоким уровнем альфа-активности ключевым признаком высокого уровня музыкально-исполнительского мастерства.

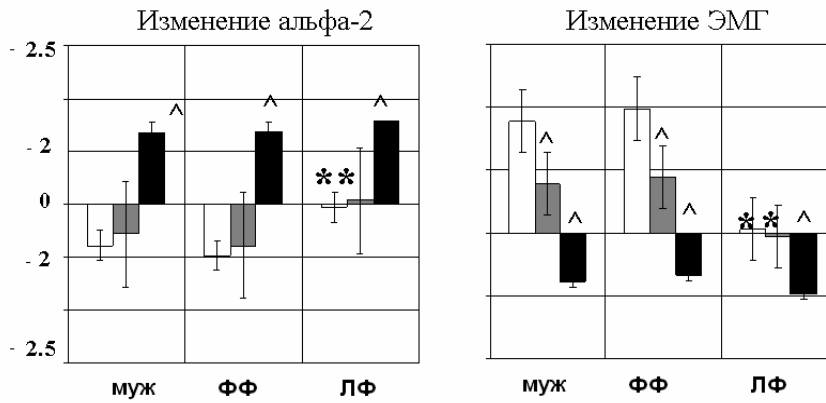


Рисунок 3.5.4. Изменение мощности (log %) в индивидуальном альфа-2 диапазоне и интегральной мощности ЭМГ мышцы лба при выполнении движения пальцами у немусыкантов (Белые столбики), музыкантов теоретиков (серые столбики) и мастеров музыкантов (черные столбики). Обозначения те же, что на рисунке 3.5.3.

Для того чтобы ответить на вопрос, является ли особый паттерн альфа-активности и высокая эффективность исполнительского движения у мастеров музыкантов следствием длительного психомоторного тренинга, или/и это результат удачной генетически определенной траектории развития, было проведено сравнение обычного обучения и обучения сочетаемого с произвольной модификацией показателей альфа-активности и ЭМГ с помощью биоуправления.

3.6. Роль индивидуальных характеристик альфа-активности в произвольной модификация уровня сенсомоторной интеграции при помощи одновременного альфа-ЭЭГ/ЭМГ тренинга биоуправления.

В задачу любого вида музыкальной практики входил тренинг «оптимальности исполнительского движения», т.е. такого движения, когда исполнение музыки не вызывает трудности и «пальцы не препятствуют претворению в жизнь музыкального замысла» [С.Сzerny,1837]. При сравнении результатов влияния различных видов музыкально-исполнительской практики: 1- обычной самостоятельной, 2- практики с внешней обратной связью, получаемой от учителя, и 3- практики, проводимой с использованием внутренней адаптивной обратной связи (биоуправления) на индивидуальные ЭЭГ характеристики альфа-активности и психометрические показатели МИМ. оказалось, что после 20-минутной самостоятельной практики так же, как после 20 минутного урока с учителем уровень самооценки исполнения музыки снизился ($t \leq -4.5, p \leq 0.021$) в группах НЧ, но увеличился ($t \geq 5.7, p \leq 0.001$) в группах ВЧ (у мужчин и женщин постовуляторных стадий). Уровень самооценки увеличивался после практики, сочетаемой с сессией биоуправления, у всех студентов ($t \geq 5.78, p \leq 0.023$). При этом прирост оценок отмечался больший в ВЧ, чем НЧ группе ($F \geq 5.9, p \leq 0.001$) (рис.3.6.1). После обычной самостоятельной двадцатиминутной практики уровень коэффициента «Оптимальности музыкально-исполнительского движения» (к-ОМИД) был ниже у студентов НЧ, чем ВЧ ($p = 0.003$). После практического занятия с учителем у студентов ВЧ исполнение музыки стало в большей степени оптимальным, то есть к-ОМИД увеличился, но не изменился в НЧ группе ($p > 0.67$). Коэффициент оптимальности исполнительского движения был наибольшим после сессии альфа-ЭЭГ/ЭМГ биоуправления (рис.3.6.2)

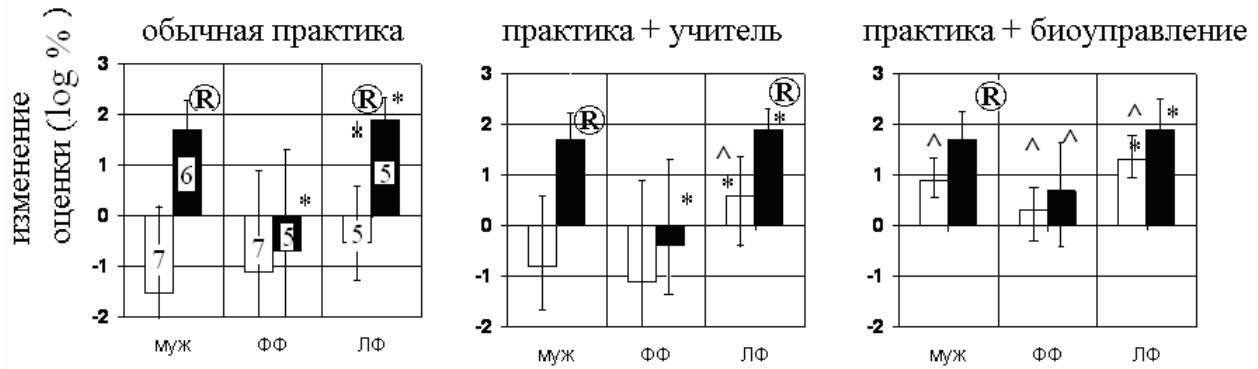


Рисунок 3.6.1. Изменение уровня самооценки «качества звука» в результате обычной практики, урока с учителем и практики с использованием биоуправления в группах ВЧ (черные столбики) и НЧ (белые столбики). Обозначения: муж – мужчины, ФФ - женщины на доовуляторных ЛФ- постовуляторных фазах менструального цикла; достоверность различий при $p < 0.05$ ® - по фактору Ч, *- по фактору ГРУППА ^ по фактору ПРАКТИКА ; внутри столбцов указано количество испытуемых.

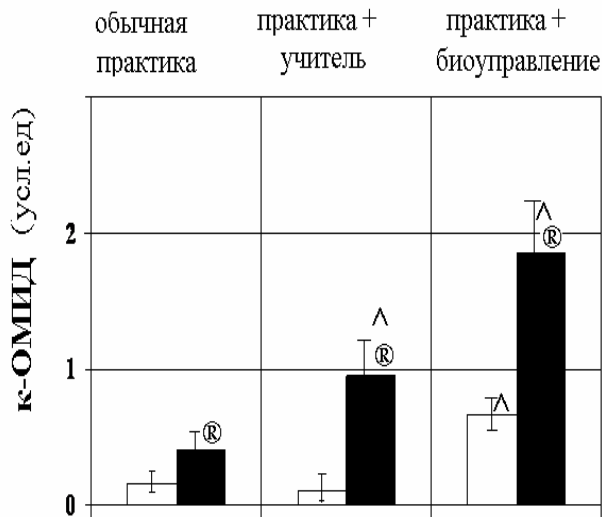


Рисунок 3.6.2.

Уровень коэффициента «Оптимальности музыкально-исполнительского движения» после обычной исполнительской практики, практики, с учителем и практики с использованием биоуправления в группах испытуемых с низкой (белые столбики) и высокой (черные столбики) альфа-частотой. Обозначения: уровень различий ® - по фактору Ч, ^ по фактору ПРАКТИКА достоверный при $p < 0.002$.

Во время обычной исполнительской практики происходило снижение индивидуальных показателей спектральной плотности мощности, индивидуальной глубины десинхронизации, ширины, частоты верхней границы альфа-диапазона, длительности и амплитуды альфа-веретена в обеих альфа-частотных группах ($F \geq 3.67$, $p < 0.013$ соответственно для показателей альфа-активности) и это снижение сохранялось после него. При этом происходило увеличение мышечного тонуса по показателю интегральная мощность ЭМГ ($F_{(4,76)} \geq 4.5$, $p < 0.003$) в группе НЧ, но ЭМГ не изменялась в группе ВЧ ($p > 0.35$) (ри.3.6.3).

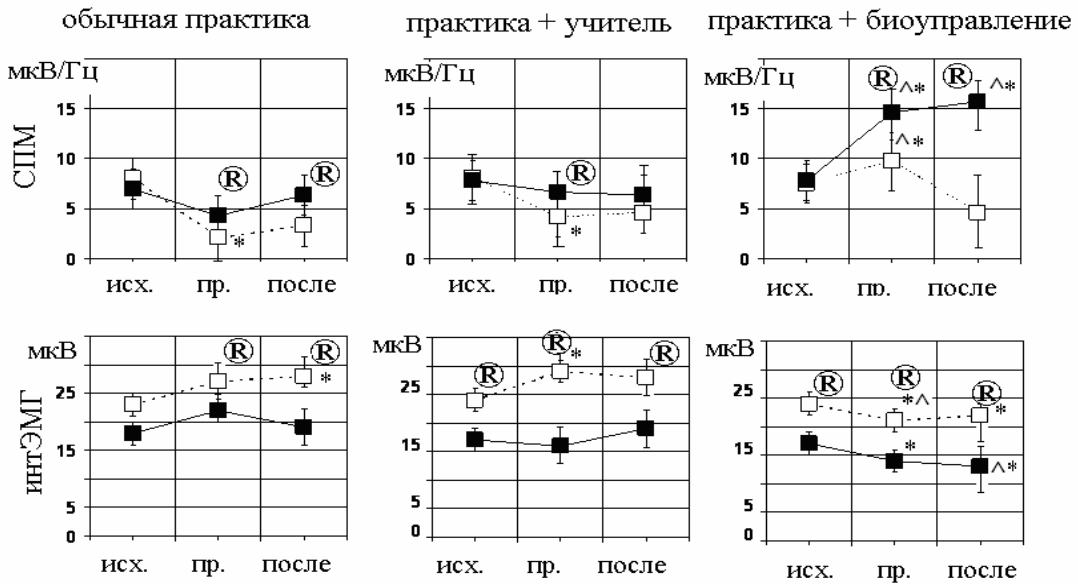


Рисунок 3.6.3. Уровень индивидуальных параметров спектральной мощности (СПМ) в индивидуальном альфа - диапазоне и интегральной мощности ЭМГ при разных видах исполнительской практики. Обозначения те же, что на рисунке 3.6.1

При исполнении музыки после урока с учителем у студентов НЧ группы динамика характеристик альфа-активности и ЭМГ показателей была такой же, как после самостоятельной практики, а у студентов ВЧ группы спектральная плотность альфа-мощности, глубина и длительность десинхронизации, ширина диапазона, средняя амплитуда, вариабельность амплитуды и длительность альфа-веретен увеличились ($p < 0.004$), но показатели мышечного напряжения не изменялись ($p \geq 0.234$). Сеанс биоуправления, проведенный во время практического занятия, увеличил уровень показателей альфа-активности ($F_{(1,76)} \geq 137.62$, $p \leq 0.000$) и снизил интегральную мощность ЭМГ ($F_{(1,76)} \geq 24,3$ $P \leq 0.000$) во время исполнения музыки в обеих альфа- частотных группах (рис. 3.6.3.). «Успешность» единичной сессии биоуправления была выше в ВЧ, чем НЧ группе ($F_{(1,76)} \geq 12,2$ $P \leq 0.001$) (рис.3.6.5). Этот показатель расценивается как эффективность обучения или «обучаемость, тренируемость» [Egner &Gruzelier, 2004].

Таким образом, физиологическая эффективность или степень оптимальности исполнительского движения у ВЧ изначально выше, чем у НЧ студентов. Обычного урока с учителем достаточно, чтобы увеличить к-ОМИД в группе ВЧ, но не в НЧ. В то же время практика, сочетаемая с биоуправлением, повышает эффективность исполнительского движения в обеих группах. При этом ВЧ – студенты легче достигали успеха в одной сессии тренинга биоуправления, чем НЧ.

Для того чтобы определить, будет ли длительный курс тренинга музыкально-исполнительского движения с использованием биоуправления эффективнее, чем обычное двухмесячное обучение, 36 студентов-музыкантов-исполнителей в возрасте от 15 до 25 лет были разделены на 2 группы: экспериментальную (18 человек дважды в неделю проводили занятие исполнительской практики совмещенное с сеансом биоуправления) и контрольную (19 человек продолжали обычные занятия самостоятельной музыкальной практики). Количество ВЧ и НЧ студентов было одинаковым (в экспериментальной 9 и 9, в контрольной 10 и 9 соответственно ВЧ и НЧ испытуемых).

Апостериорные (post hoc) сравнения показали, что коэффициент ОМИД, уровень самоактуализации, экспертные оценки за «музыкальность» и «интонацию» и показатели личностной тревожности не изменились ($F < 1$) через два месяца обычных уроков по исполнительской практике в обеих контрольных ВЧ и НЧ подгруппах. При этом у НЧ студентов контрольной группы оценки по критериям «техника», «артикуляция», и «качество звука» при исполнении музыки и уровень самоактуализации снизились ($F_{1,18} \geq 5.27, p \leq 0.042$), средний уровень ситуативной тревожности увеличился ($F_{1,18} = 13.29, p = 0.023$). Однако у ВЧ испытуемых той же контрольной группы, уровень экспертных оценок, за «качество звука» вырос ($F_{1,16} = 6.28, p = 0.036$) (рис.3.6.4).

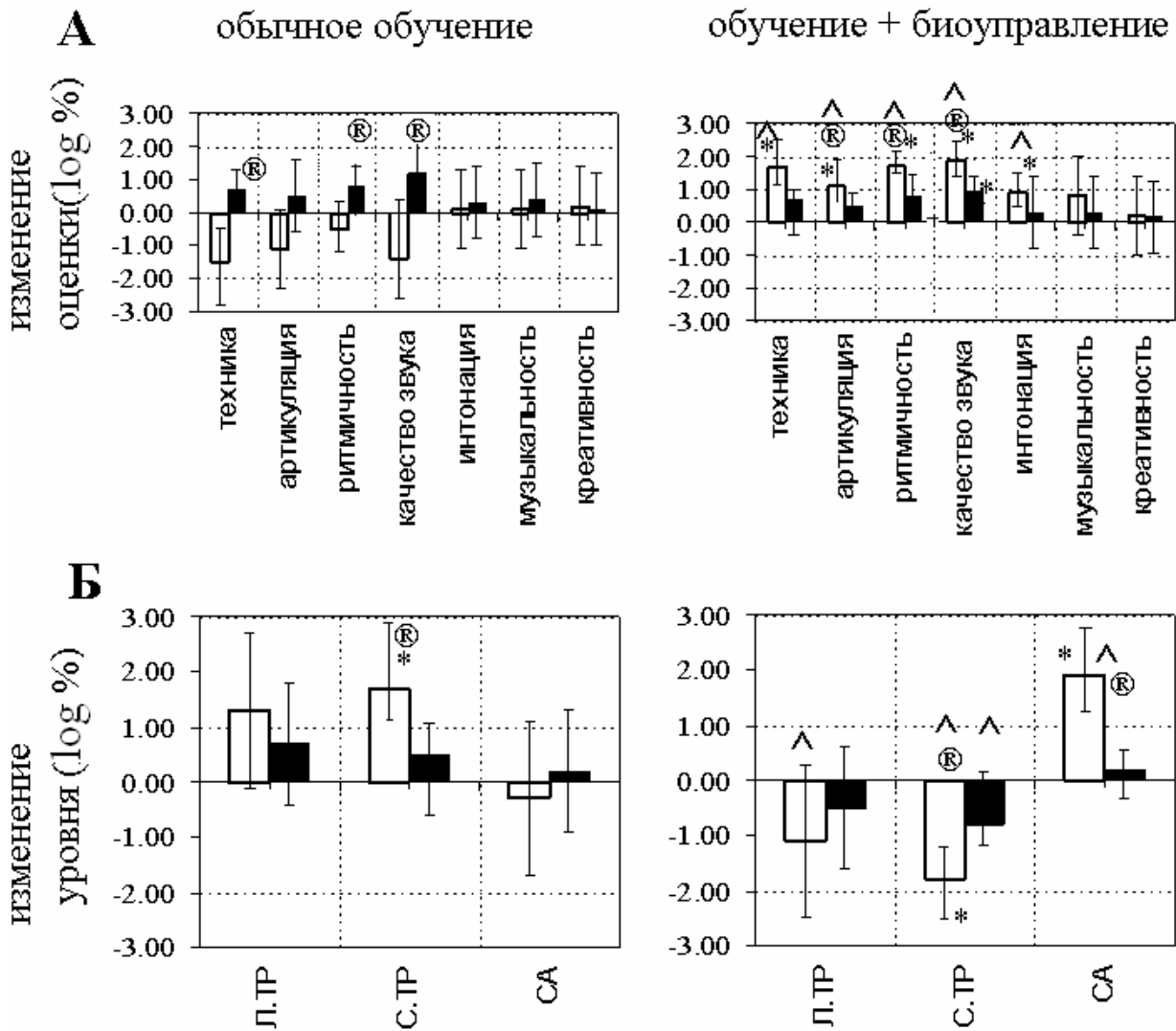


Рисунок 3.6.4.. Изменение средних значений (в процентах по отношению к исходному уровню) экспертных оценок (А) и психометрических характеристик (Б) через два месяца обычных занятий (Обычное обучение) и занятий, сочетаемых с сеансами биоуправления (Обучение+Биоуправление). Обозначения: С.ТР – ситуативная тревожность, Л.ТР – личностная тревожность, СА – самоактуализация; белые столбики – значения испытуемых с низкой, черные столбики – значения испытуемых с высокой альфа-частотой; * - различия значимы ($p < 0.05$) по фактору «ДО-ПОСЛЕ» (курса обучения), ^- по фактору ВИД ОБУЧЕНИЯ и @- по фактору ГРУППА (ВЧ и НЧ)

В обеих экспериментальных подгруппах двухмесячные занятия, сочетаемые с биоуправлением, улучшили экспертные оценки по всем критериям исполнения музыки ($F_{1,34} = 9.31 \div 12.2$, $p \leq 0.003$), кроме «интонации», «музыкальности» и «креативности», которые не изменились ($F < 1$), увеличился к-ОМИД и уровень мотивационной компетентности ($F_{1,34} \geq 19.31$, $p \leq 0.001$), снизились показатели ситуативной и личностной тревожности ($F_{1,34} \geq 6.52$, $p \leq 0.005$). (рис. 3.6.4).

После двухмесячного курса биоуправления изменения психометрических параметров были более выражены у студентов НЧ, чем ВЧ ($t = 1.2 \div 5.3$, $p < 0.035$). Как после обычного обучения, так и после обучения с биоуправлением уровень индивидуальных показателей альфа-активности в состоянии покоя не изменился в обеих экспериментальной и контрольной группах ВЧ и НЧ испытуемых ($p > 0.05$), но увеличился у НЧ студентов во время исполнительской практики ($t \geq 5.47$, $p \leq 0.033$) (рис.3.6.5).

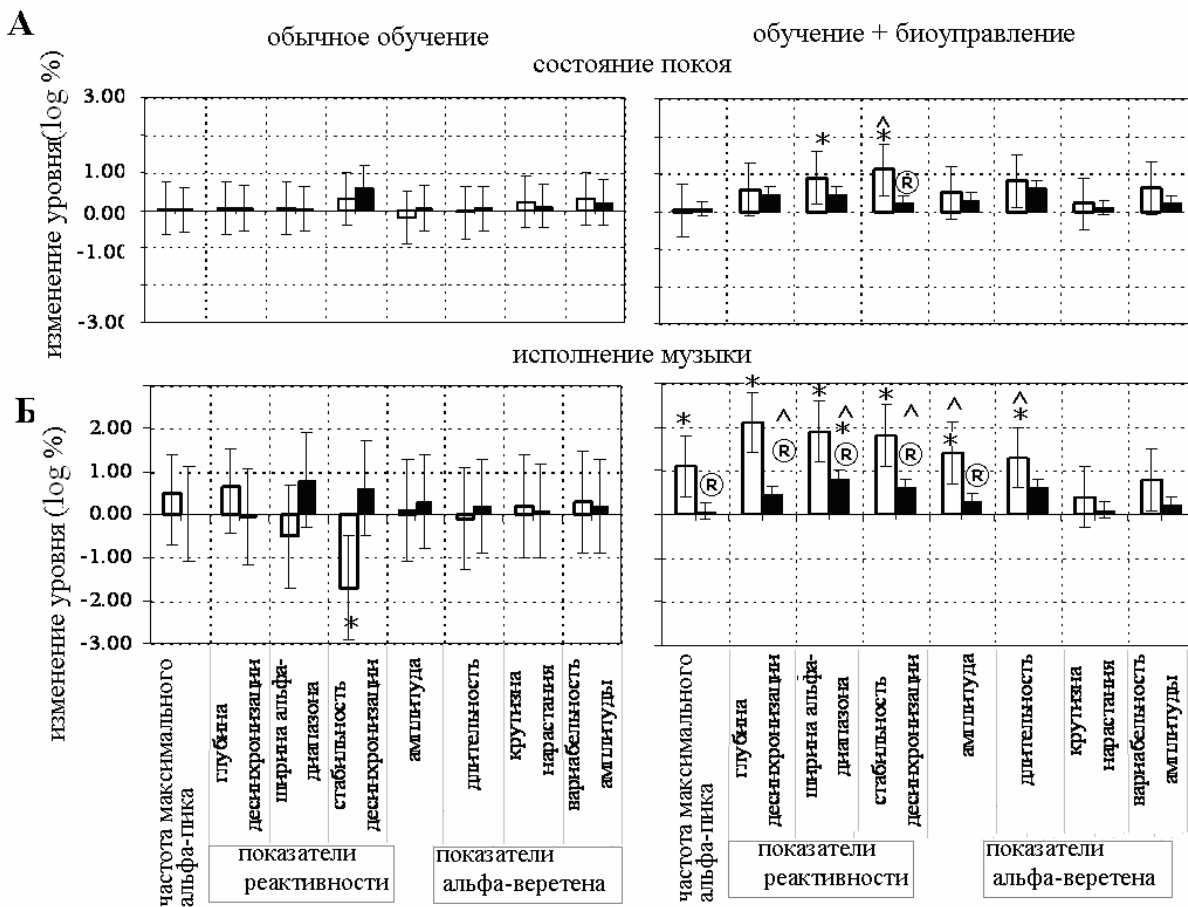


Рисунок 3.6.5. Изменения (log %) индивидуальных параметров альфа-активности, зарегистрированных в состоянии покоя и во время исполнения музыки в группах ВЧ (черные столбики) и НЧ (белые столбики) после двух месяцев обычного обучения или двухмесячного курса биоуправления. Обозначения те же, что на рис. 3.6.3.

Важно заметить, что через два месяца эффективность отдельной сессии биоуправления или «коэффициент обучаемости» также увеличился только у испытуемых экспериментальной НЧ подгруппы ($t = 6.7$, $p = 0.002$) и не изменился в контрольной НЧ и ВЧ подгруппах после обычного двухмесячного обучения ($p > 0.05$) (рис.3.6.5).

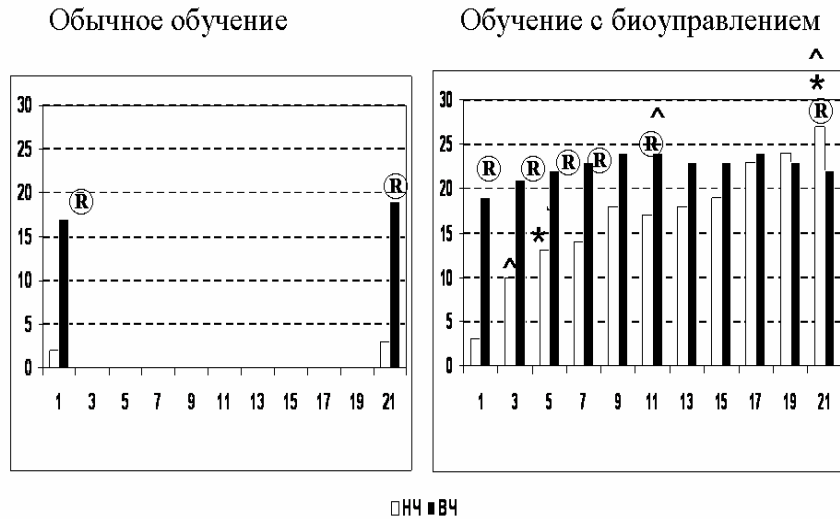


Рисунок 3.6.6. Динамика изменений эффективности сессий биоуправления в течение двух месяцев обычных занятий и занятий, сочетаемых с сеансами биоуправления. По оси ординат – эффективность сессии биоуправления (%), по оси абсцисс – номер сессии биоуправления, белые столбики – значения испытуемых НЧ-, черные столбики – ВЧ группы; Обозначения те же, что на рисунке 3.6.3:

Таблица 3.6. Влияние обучения на показатели музыкально-исполнительского мастерства и альфа-активность в группах с высокой (ВЧ) и низкой (НЧ) альфа-частотой.

время	вид тренинга	показатель уровня музыкально-исполнительского мастерства	НЧ	ВЧ
20 минут	самостоятельная практика	самооценка исполнения	↓	=
		Коэффициент оптимальности движения	↓	=
	урок с учителем	самооценка исполнения	=	↑
		Коэффициент оптимальности движения	↓	=
	практика + биоуправление	самооценка исполнения	↑	↑
		Коэффициент оптимальности движения	↑	↑
2 месяца	обычное обучение	экспертные оценки	=	↑
		самоактуализация	=	=
		ситуативная тревожность	↑	=
		Коэффициент оптимальности движения	=	↑
		альфа-активность в состоянии покоя	=	=
		альфа-активность во время исполнения музыки	↓	=
		успешность сессии биоуправления	=	=
	обучение + 20 сеансов биоуправления	экспертные оценки	↑	=
		самоактуализация	↑	=
		ситуативная тревожность	↓	=
		Коэффициент оптимальности движения	↑	=↑
		альфа-активность в состоянии покоя	=↑	=
		альфа-активность во время исполнения музыки	↑	=↑
		успешность сессии биоуправления	↑	=

Обозначения: ↑ увеличение; ↓ снижение ; = отсутствие изменений в уровне параметра

Таким образом, двухмесячный тренинг произвольной модификации электрофизиологических параметров музыкально-исполнительского движения не вызывает изменения уровня индивидуальных параметров альфа-активности в состоянии покоя, но увеличивает в состоянии исполнения музыки.

Заключение

Настоящее исследование, установило существование двух разночастотных паттернов альфа-активности ЭЭГ, характеризующихся различными механизмами нейрональной активации и авторитмичности. В соответствии с индивидуальными разночастотными типами альфа-активности формируются разные типы когнитивной и психомоторной стратегий. Исследование зависимости индивидуальных характеристик альфа-активности от биологических факторов пола, возраста и нейрогуморального статуса позволило установить два типа возрастной и нейрогуморальной динамики развития реакции активации, зависимых также от альфа-частоты. Можно утверждать, что формирование сенсомоторной интеграции происходит в зависимости от индивидуального типа альфа-активности ЭЭГ: у высокочастотных студентов более эффективно, чем низкочастотных. В этой связи произвольная модификация сенсомоторной интеграции, предполагающая тренинг увеличения мощности в индивидуальном альфа-2 диапазоне, с одновременным снижением тонуса мышц, не участвующих в движении повышает эффективность обучения в низкочастотной группе, то есть у тех индивидов, которые не могли достичь успешности при традиционных подходах.

Таким образом, вся совокупность полученных данных позволяет полагать, что за внешними признаками частотных различий в индивидуальных параметрах альфа-активности ЭЭГ скрывается индивидуально-типологическая функциональная структурированность процессов мозговой активации, которая определяет уровень сенсомоторной интеграции и возможность её произвольной модификации.

ВЫВОДЫ:

1. Индивидуальная частота максимального пика альфа-осцилляций в теменно-затылочной области коры головного мозга в состоянии физиологического покоя с закрытыми глазами обладает наибольшей инвариантностью и воспроизводимостью в тест-ретест исследовании по сравнению с показателями её в других областях мозга и в состоянии открытых глаз. Этот эндофенотипический индикатор мозговой активности использован в качестве критерия формирования групп испытуемых с высокой (ВЧ) и низкой (НЧ) индивидуальной альфа-частотой.

2. Сравнение феноменологических характеристик альфа-активности в группах ВЧ и НЧ показало, что крутизна нарастания и вариабельность амплитуды альфа-веретена, характеризующие скорость образования нейронального ансамбля и вариабельность его частотных генераторов, больше в ВЧ, чем НЧ группе. Показатели реактивности на простую зрительную стимуляцию также отличались: (1) сдвиг индивидуальной частоты максимального альфа-пика в сторону ее повышения или понижения (по модулю) в группе ВЧ более значительный, чем в НЧ; (2) восстановление этой частоты до исходной величины в группе ВЧ происходит быстрее, чем НЧ; (3) ширина частотного диапазона, в котором происходит реакция активации в группе ВЧ шире, чем НЧ.

3. По данным регрессионного анализа установлены межгрупповые отличия в характере взаимосвязи между одноименными параметрами альфа-активности: (1) в НЧ группе индивидуальная частота максимального пика альфа

положительно ассоциируется с длительностью альфа-веретена, характеризующую стабильность нейронального ансамбля, в ВЧ – отрицательно; (2) в НЧ группа индивидуальная глубина десинхронизации положительно взаимосвязана с вариабельностью амплитуды альфа-веретена, в ВЧ – отрицательно; (3) в НЧ скорость угасания реакции активации положительно коррелирует со скоростью образования нейронального ансамбля (крутизной нарастания амплитуды альфа-веретена), в ВЧ – отрицательно.

4. Характер взаимосвязи индивидуальных характеристик альфа-активности с показателями невербальной креативности и формально-динамическими свойствами индивидуальности отличается в ВЧ и НЧ группах: (1) индивидуальные характеристики частоты максимального пика и длительности альфа-сегмента (стабильности нейронального ансамбля) положительно взаимосвязаны с эргичностью интеллекта и беглостью выполнения заданий на невербальную креативность только в группе НЧ, (2) ширина альфа-частотного диапазона и вариабельность амплитуды веретена положительно коррелируют с показателями пластичности интеллекта и гибкости при выполнении креативных задач в обеих группах; (3) оригинальность решения невербальных задач обратно пропорциональна индивидуальной частоте пика альфа-активности в группе НЧ, но прямо пропорциональна в группе ВЧ.

5. Возрастная динамика альфа-активности зависит от индивидуального онтогенеза. В допубертатном периоде по мере взросления значения медианы индивидуальной частоты альфа-пика увеличиваются и вместе с тем также увеличиваются ширина альфа-диапазона, глубина и стабильность реакции активации, вариабельность амплитуды и длительность альфа-веретена, а спектральная плотность альфа-мощности снижается. После полового созревания средние значения показателей альфа-активности одинаковы в разных гендерных группах. Снижение индивидуальных показателей альфа-активности в среднем возрасте зависит от фактора частоты альфа-пика.

6 В лонгитюдном исследовании динамики менструального цикла у здоровых женщин установлены эффекты увеличения индивидуальной частоты максимального пика, мощности и ширины альфа-диапазона, длительности, крутизны нарастания и вариабельности амплитуды альфа-веретена на овуляторной и лютеиновой фазах цикла. При этом в НЧ группе наиболее информативными признаками этих фаз были ширина альфа-диапазона и глубина десинхронизации, а у ВЧ - амплитуда альфа-веретена и частота верхней границы альфа-диапазона

7. Уровень музыкально-исполнительского мастерства положительно взаимосвязан с индивидуальной частотой максимального альфа-пика, стабильностью реакции альфа-десинхронизации, шириной альфа-диапазона, вариабельностью и длительностью альфа-веретена в общей выборке испытуемых. Коэффициент оптимальности исполнительского движения, оцениваемый по соотношению изменений ЭЭГ мощности в альфа-2 диапазоне и ЭМГ фронтальной мышцы во время исполнения музыки, выше у ВЧ, чем у НЧ испытуемых.

8. Обычное музыкальное занятие не изменяло коэффициент оптимальности исполнительского движения у студентов-музыкантов группы ВЧ, но снижало её в группе НЧ. Занятие, сочетаемое с альфа-стимулирующим и ЭМГ-понижающим тренингом биоуправления, по сравнению с самостоятельным занятием увеличило коэффициент оптимальности музыкально-исполнительского движения у всех испытуемых.

10. Двухмесячный тренинг произвольной модификации электрофизиологических параметров музыкально-исполнительского движения не вызывает изменения уровня индивидуальных параметров альфа-активности в состоянии покоя, но увеличивает частоту максимального пика и альфа мощность, углубляет и стабилизирует реакцию на открывание глаз и расширяет альфа-диапазон, удлиняет альфа-веретена, а амплитуду ЭМГ мышц, не участвующих в движении снижает. Эти изменения в уровне электрофизиологических параметров ассоциируются с улучшением оценок исполнения музыки и лучше выражены в НЧ, чем ВЧ группе.

11. Индивидуальные показатели альфа-активности (частота максимального пика, ширина диапазона, глубина десинхронизации, амплитуда, длительность и вариабельность амплитуды альфа-веретена) служат прогностическими критериями способности к музыкально-исполнительской деятельности и успешности её произвольной модификации.

Основные результаты опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Bazanova O.M. . Gvozdev A.V, Mursin F.A., Verevkin E.G. and Shtark M.B., EEG-EMG Dimensionality of the musical performance // **Cognitive processing** 2003, 4(3): 33-47
2. Базанова О.М., Штарк М.Б. Нейробиоуправление в оптимизации функционирования музыкантов исполнителей // **Бюллетень экспериментальной биологии и медицины Сибирского отделения Академии Мед. Наук.** 2004, 113(3): 114-123.
3. Базанова О.М., Афтанас Л.И. Успешность обучения и индивидуальные частотно-динамические характеристики альфа-активности электроэнцефалограммы. // **Вестник РАМН**, 2006, 6: 30-43.
4. Базанова О.М., Афтанас Л.И. Использование индивидуальных характеристик ЭЭГ для повышения эффективности биоуправления // **Журнал невропатологии и психиатрии им. С.С. Корсакова**, 2006, 106(2):31-36
5. Базанова О.М., Афтанас Л.И. Индивидуальные показатели альфа-активности электроэнцефалограммы и невербальная креативность // **Рос. Физиол. журнал им. И.М. Сеченова**, 2007, 93(1): 14-26
6. Базанова О.М., Штарк М.Б. Биоуправление в оптимизации психомоторной реактивности. Сообщение 1. Сравнительный анализ биоуправления и обычной исполнительской практики // **Физиология человека** 2007, 33(3): 1-9
7. Базанова О.М., Веревкин Е.Г., Штарк М.Б. Биоуправление в оптимизации психомоторной реактивности. Сообщение 2. Динамика сегментных характеристик альфа-активности // **Физиология человека**, 2007, 33(6): 1-6
8. Базанова О.М., Мерная Е.М., Штарк М.Б. Биоуправление в психомоторном обучении. Электрофизиологическое обоснование // **Рос. Физиол. журнал им. И.М. Сеченова**, 2008, 94(5):539-56
9. Bazanova O.M., Jafarova O.A., Mernaya E.M., Mazhorina K.V., Stark M.B. Optimal functioning psychophysiological bases and neurofeedback training // **International J. of Psychophysiology**, 2008. 69.(3):164
10. Базанова О.М. Современная интерпретация альфа-активности электроэнцефалограммы // **Успехи физиологических наук**, 2009, №2, (принята к печати)

в других изданиях:

- Базанова О.М., Возможность электроэнцефалографических методов диагностики музыкальных способностей // **Биоуправление. Теория и практика**, 2002, 4:361-365

- Базанова О.М., Гвоздев А.В., Штарк М.Б. Биоуправление в оптимизации музыкальной деятельности. Параметры оптимального функционирования музыканта-исполнителя // Труды СГУ. Вып.78. Гуманитарные науки. Психология и социология образования. М.: СГУ, 2004.. 215–226.
- Базанова О.М., Штарк М.Б. Биоуправление в оптимизации музыкальной деятельности. Обучение саморегуляции оптимального функционирования // Труды СГУ. Вып.78.. М.: СГУ, 2004.. 227–240
- Базанова О.М., Электроэнцефалографические альфа-корреляты музыкальных способностей. // Ж. Функциональная диагностика, 2005, 1:.. 62-70.
- Bazanova O.M., Aftanas L.I. Relationships between learnability and individual indices of EEG alpha activity // Annals of General Psychiatry 2006, 5 (S 1): p. 74-75
- Базанова О.М., Афтанас Л.И. Показатели невербальной креативности и индивидуальная частота максимального пика альфа активности электроэнцефалограммы // Функциональная диагностика 2006, 4: 43-47
- Bazanova O.M., Shtark M.B. Biofeedback in Optimizing Psychomotor Reactivity: I. Comparison of Biofeedback and Common Performance Practice. // Human Physiology, 2007, 33(4): 400–408
- Bazanova O.M., Kondratenko A., Kondratenko, O., Mernaya, E.; Zhimulev, E. New Computer-Based Technology to Teach Peak Performance in Musicians // Information Technology Interfaces, 2007, 7: 39 – 44
- Bazanova O.M. Age related alpha activity change differs for males and females and for low and high alpha frequency EEG pattern // Revista Espanola de Neuropsicologia, 2008, 10(1): 82-83
- Bazanova O.M., Mernaya E.M. Alpha-activity fluctuations in various hormonal states and associated with them musical performance proved differently in the opposite individual alpha peak frequency groups // Revista Espanola de Neuropsicologia, 2008, 10 (1):100-101
- Bazanova O.M., Aftanas LI Individual measures of electroencephalogram alpha activity and non-verbal creativity. // Neurosci Behav Physiol. 2008, 38,(3): 227-35