

Кононенко Николай Сергеевич

**Особенности корковых взаимодействий при формировании программ движений во время реализации и корректировки сложного произвольного бимануального двигательного акта**

1.5.5. Физиология человека и животных

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Курск – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Курский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

**Научный руководитель:**

доктор медицинских наук, доцент **Ткаченко Павел Владимирович**

**Официальные оппоненты:**

**Лытаев Сергей Александрович**, доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, заведующий кафедрой нормальной физиологии

**Джебраилова Тамара Джебраиловна**, доктор биологических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), профессор кафедры нормальной физиологии

**Ведущая организация:**

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

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г. в \_\_ часов на заседании диссертационного совета 21.2.060.02, созданного на базе ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России по адресу: 390026 г. Рязань, ул. Высоковольтная, д. 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России (390026, г. Рязань, ул. Шевченко, д. 34, корп. 2) и на сайте [www.rzgmu.ru](http://www.rzgmu.ru)

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат медицинских наук, доцент

Короткова Н.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность и степень разработанности исследования

Корковый уровень регуляции движений представляет собой сложную морфофункциональную систему, ядро которой находится в области центральной роландовой борозды. В области передней центральной извилины расположены центры движений противоположных конечностей (Александров А. А., 2010; Болдырева Г. Н., 2013; Мамажонов З.А., 2020). Отмечается важнейшая роль двигательной коры в организации и контроле тонкости и точности движений, особенно в процессе обучения (Кирой В. Н., 2010; Мазикин И.М., Лапкин М.М. и др., 2016; Брыксина З. Г., Ковалев Е.Г., 2018).

При реализации бимануального ритмического теппинга установлено, что быстрые ритмические бимануальные движения представлены в ЦНС в виде моторной программы их такта и выполняются путем последовательной реализации этой программы (Курганский, А. В., 2008; Kantak, S. S., 2016). В инициации моторной программы, по всей вероятности, участвуют более высокие уровни двигательной системы, чем в процессе ее выполнения, который обеспечивается взаимодействием моторной коры и субкортикальных структур (Персон, Р. С., 1976; Мазикин, И. М., 2023; Lotze M., 1999).

Отдельно хочется отметить, что в ЦНС механизмы бимануальной синхронизации, т.н. «таймер» связан с высшей ступенью иерархии моторного управления и периодически синхронизирует двигательные паттерны с корковых зон обоих полушарий, направленных на активацию мотонейронных пулов мышц каждой руки. Исходя из концепции А.А. Ухтомского, можно предполагать, что синхронизирование важнейшего момента бимануальной деятельности отражает доминирующую констелляцию симметричных кортикальных флексорно-экстензорных центров каждой руки, объединенных общим рабочим ритмом. Важно, что «таймерный механизм» формируется в результате подобной «сонастройки», являясь частным случаем усвоения ритма и рабочего объединения нервных центров. Отмечается, что трудовые движения

в большей степени соотносятся с быстрой и точностной бимануальной деятельностью (Ткаченко П. В., 2012; Omrani, M., 2013; Brakke, K., 2019).

Большой экспериментальный и клинический материал по организации двигательной активности получен посредством электроэнцефалографии. Так, установлено, что при выполнении произвольных двигательных задач наблюдается гетерогенность и неравнозначность ритмов ЭЭГ. При этом количество и частотные параметры спектральных компонентов определяются главным образом индивидуальной выраженностью альфа-ритма (Alle, H., 2009; Parr J. V., 2023).

Изучение электрофизиологических коррелятов инициации и прекращения движения показало, что инициация и прекращение однократного произвольного движения сопровождаются возникновением паттернов корковой активности, имеющих одинаковую конфигурацию. При этом комплексное использование методик амплитудной модуляции ЭЭГ и медленных потенциалов позволяет выявить специфичность формирования двигательных программ (Славуцкая А. В., 2012). Используя закономерности нейрофизиологических коррелятов, проведено обоснование биоуправления в психомоторном обучении, зависящем от исходных параметров альфа-активности (Привес, М. Г., 2010; Жаворонкова Л.А. и др., 2015).

В последние годы изучением проблемы целенаправленной сложнскоординированной деятельности на корковом уровне занимались достаточно много исследователей (Базанова О.М., 2006; Кирой В.Н., 2010; Болдырева Г.Н., 2013; П.В. Ткаченко, 2014; Асланян Е.В., 2015; Иващенко Е.А., 2019; Трошина Е.М., 2020; Лазуренко Д.М., 2021 и другие).

В работах этих ученых представлены сведения о биоэлектрической активности мозга при реализации и мысленном представлении двигательного акта в различных его проявлениях, от простого к сложному. Однако, не рассматриваются особенности активности коры больших полушарий в ходе выполнения бимануальных движений, не представлены данные электроэнцефалографических коррелятов в ходе выработки программ движений и

их последующей коррекции, не в полной мере отражается внутрисистемное корковое взаимодействие для инициации и коррекции движения.

### **Цель исследования**

Исследовать устойчивые закономерности организации электрической активности головного мозга при реализации произвольных целенаправленных бимануальных движений.

### **Задачи исследования:**

1. установить уровень бимануальной координации с использованием метода суппортметрии;
2. исследовать особенности ЭЭГ-картины при выполнении произвольного бимануального сложнскоординированного двигательного акта;
3. определить устойчивые корреляционные взаимоотношения характеристик электроэнцефалограммы и показателей уровня бимануальной координации;
4. выявить особенности организации сенсомоторной сферы у испытуемых мужского и женского пола;
5. установить особенности корковой внутрисистемной организации при формировании программ движения.

### **Методология и методы исследования**

Практическая часть диссертационной работы проводилась на базе лаборатории физиологии двигательной активности НИИ физиологии, объединенного с однопрофильной кафедрой федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации в период с 2019-2024 гг.

В эксперименте на основе информированного добровольного согласия приняли участие 53 мужчины и 51 женщина в возрасте от 18 до 24 лет.

В ходе проведения исследования для регистрации биоэлектрических явлений головного мозга использовался метод электроэнцефалографии с

применением электроэнцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» производства НПКФ «Медиком МТД», Россия, г. Таганрог.

Уровень бимануальной произвольной двигательной активности определяли методом суппортметрии посредством авторского программно-аппаратного комплекса, состоящего из механической части и специализированного программного обеспечения «Support 1 Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам № 2010616159. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 17 сентября 2010 г.».

При статистической обработке полученных результатов рассчитывали средние значения рассматриваемых показателей с ошибкой. Достоверность различий средних арифметических вычисляли по общепринятой формуле и оценивали по таблице критериев Стьюдента для заданного порога вероятности безошибочных прогнозов (0,95, 0,99, 0,999). Провели информационный анализ величин, а также полный корреляционный анализ с расчетом коэффициентов корреляции и корреляционных отношений.

### **Научная новизна исследования**

Впервые проведен комплексный анализ спектров и ритмов ЭЭГ, картирование головного мозга с применением когерентности, автокорреляционного и кроскорреляционного анализов при выполнении произвольных целенаправленных бимануальных сложнокоординированных движений. Впервые получены данные о многосторонних взаимоотношениях электрической активности мозга и уровня бимануальной координации. Впервые проведен внутрисистемный анализ корковых взаимосвязей при выработке программ движений и последующей их коррекции.

### **Теоретическая значимость исследования**

Представленные в работе данные электрической активности нервных центров расширяют сведения о корковых представительствах инициации и коррекции локомоции. Получены представления о внутрисистемных взаимоотношениях корковых представительств молодых людей разного пола в ходе реализации произвольной целенаправленной бимануальной деятельности.

Выявлены различия в стратегиях выполнения произвольных движений, оказывающие влияние на результативность целенаправленной деятельности, что, при дальнейшем их изучении, может служить основой для разработки методов, профессионального отбора на производства, требующие тонкой координации движений рук, оценки динамики освоения сложных двигательных навыков и прогнозирования успешности производственной деятельности, профессионального отбора спортсменов в различные виды спорта и прогнозирования успешности спортивной деятельности, оценки динамики освоения двигательных навыков в реабилитации, а также может послужить основой для разработки и коррекции интерфейсов «мозг-компьютер» и методов биоуправления экзоконечностями.

### **Практическая значимость исследования**

Данные, полученные в ходе диссертационной работы, могут быть использованы в дальнейших физиологических и психофизиологических исследованиях для выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в научных учреждениях, а также использоваться в учебном процессе.

### **Внедрение результатов в практику**

Результаты исследований внедрены в учебный процесс и научные исследования кафедры нормальной физиологии и НИИ физиологии ФГБОУ ВО КГМУ Минздрава России, а также в практику научных исследований кафедры нормальной физиологии ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Уровни пространственной бимануальной координации имеют половые особенности и определяются стратегией выполнения заданной локомоции.
2. Испытуемые, осуществляющие произвольную целенаправленную бимануальную деятельность с различной результативностью, отличаются по характеру показателей электроэнцефалограммы внутрисистемных корреляционных взаимосвязей нервных центров коры больших полушарий

головного мозга, с показателями уровня координационной деятельности, что может отражать различную системную организацию физиологических функций при ее выполнении.

### **Степень достоверности и апробация работы**

Достоверность результатов диссертационного исследования определяется использованием современного оборудования и программного обеспечения, применением корректных методов статистической обработки данных, репрезентативностью выборок испытуемых, включённых в исследование, достаточным для обоснования выводов объёмом наблюдений, публикациями по теме работы в рецензируемых научных журналах.

Основные материалы исследования были представлены на 85-ой Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Молодежная наука и современность» посвященная 85-летию КГМУ (Курск, 2020); 86-ой Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Молодежная наука и современность» посвященная 86-летию КГМУ (Курск, 2021); 87-ой Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Молодежная наука и современность» (Курск, 2022); 87-й Международной научной конференции «Университетская наука: взгляд в будущее» (Курск, 2022); Научно-практической и учебно-методической конференции с международным участием «Современная медицина и информационные технологии в процессе обучения в период пандемии COVID 19», посвященной 70-летию профессора кафедры хирургических болезней и реанимации Абдурахманова Мамура Мустафаевича (Узбекистан, Бухара, 2022); Конференции молодых ученых и студентов, посвященная 100-летию МГМСУ им. А.И. Евдокимова «Физиология и физика в современной медицине» (Москва, 2022); VIII Региональной научно-практической конференции с международным участием «Павловские чтения» посвященной 85-летию кафедры фармакологии и кафедры патофизиологии Курского государственного медицинского университета (Курск, 2022); Научно-практической конференции с международным участием «От молекулы к системной организации физиологических

функций», посвященной 90-летию со дня рождения члена-корреспондента РАМН, профессора А.В. Завьялова (Курск, 2023); IX Международной научно-практической конференции «Павловские чтения 2023», посвященной 130-летию со дня рождения профессора Н.К. Верещагина (Курск, 2023); 89-й Международной научной конференции «Университетская наука: взгляд в будущее» (Курск, 2024).

### **Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 11 печатных работ, полно отражающих основные положения диссертационной работы, в том числе 3 статьи в журналах перечня ВАК при Минобрнауки России, получено 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

### **Личный вклад автора**

Автор диссертации непосредственно участвовал в разработке плана и дизайна исследования, проведении исследований, получении исходных данных и в их анализе, участвовал в разработке методического обеспечения работы, лично и совместно с соавторами обрабатывал и интерпретировал экспериментальные данные, лично и с соавторами подготовил публикации по выполненной работе, лично представлял материалы диссертации на различных этапах апробации результатов работы.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания материалов и методов исследования, двух глав собственных исследований, обсуждения результатов, выводов, практических рекомендаций и списка литературы, включающего 193 источника, в том числе 126 отечественных и 67 зарубежных, изложена на 175 страницах машинописного текста, содержит 23 рисунка и 35 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Координация произвольной двигательной активности рук в группе испытуемых женского и мужского пола**

Ключевым показателем в анализе будет интегральный показатель координации. На основании его значений выявлено, что у женщин, второе

задание является наиболее сложным и говорит о трудностях при прохождении трека, а первое задание представляется самым простым. У мужчин четвертое задание по всем показателям превосходит свои аналоги и для лиц мужского пола является наиболее сложным. Данный трек характеризуется большим количеством полудуг, что приводит к формированию координационных программ за счет формирования обратной афферентации. При выполнении данного задания этот процесс является наиболее сложным и подвергается торможению другими структурами мозга. Также может сказываться утомление центров координации ввиду того, что данное задание является последним в серии испытаний. Самым легким является первый контур, при котором наблюдается наивысшая координационная деятельность.

При сравнении средних значений показателей суппортметрии у испытуемых мужского и женского пола наблюдаются стойкие различия с преобладанием в пользу мужчин. Это может свидетельствовать об активации различных структур мозга в инициации программы моторного акта, о циркулировании более стойкого возбуждения после преднастройки и выполнения первого задания.

#### **Внутрисистемные корреляционные взаимоотношения показателей координации произвольной двигательной активности рук у испытуемых женского и мужского пола**

Изучение связей интегрального показателя координации движений у женщин при выполнении первого задания и второго, третьего, четвертого заданий были установлены прямые статистически значимые корреляционные связи. Между показателями ИПК при выполнении второго задания и третьего, четвертого заданий также установлены прямые статистически значимые связи. Аналогичные показатели выявляются между третьим и четвертым заданиями. При анализе взаимосвязи значений времени нахождения на контуре трека у мужчин в рамках произведения первого задания и второго, четвертого заданий установлена статистически значимая прямая корреляционная связь. Это значит, что при увеличении показателя ВНК при прохождении первого трека, показатели ВНК при выполнении других треков будут увеличиваться. Это

свидетельствует о том, что моторные программы иницируются в одних и тех же участках коры головного мозга. Об этом также свидетельствуют данные об установленных связях между заданиями вторым и третьим, четвертым и связях между треками третьим и четвертым.

### **Сравнительная характеристика корреляционных взаимоотношений показателей координации произвольной двигательной активности рук у испытуемых женского и мужского пола**

При выполнении первого и второго заданий наблюдается статистически значимая связь в обоих выборках исследуемых. Взаимосвязи между показателями при выполнении первого, третьего заданий и первого, четвертого заданий характеризуют влияние изначально выработанной программы и степень влияния последующих треков на ее корректировку. Из анализа данных видно, что у лиц женского пола данная связь выражена сильнее и превышает в первом и третьем задании на 29%, а в первом и четвертом заданиях на 27%. Можно предположить, что центры коррекции движения у женщин менее лабильны, что позволяет им удерживать первоначальное возбуждение. У мужчин данные показатели также статистически значимы, но сила и проявление ниже, что может говорить о включении центров под задачу «здесь и сейчас» и более быстрой адаптации под изменившиеся условия. Связь между вторым и четвертым заданиями, как наиболее сложными, показывает насколько мужчины и женщины могут использовать выработанную сложную программу для реализации похожих функций. Сравнительный анализ говорит о том, что мужчины наиболее способны дифференцировать выработанные программы и адаптировать их под осуществление новых функций, при этом женский пол также обладает данной функцией, но выражена ниже на 5%. Корреляционные отношения между результатами прохождения третьего и четвертого треков, говорят о последовательном переключении с легких программ на более тяжелые, выносливости центров моторики рук и об общей тенденции улучшения координационной активности. Для женщин свойственно постепенное нарастание связи от задания к заданию, это говорит, что в ходе каждого задания моторная программа претерпевает корректировку и

становится более совершенной. При том, у мужчин важное значение имеет изначальная преднастройка, которая показывает высокий результат в конце исследования.

### **Электрическая активность головного мозга при выполнении движения в группе испытуемых женского и мужского пола после выполнения серии заданий суппортметрии**

Сравнительный анализ амплитудного спектра у женщин при реализации программы моторного акта после выполнения заданий суппортметрии показал, что область наименьшей активности в бета-, альфа- и тета-диапазонах сосредоточена в отведении Т3 А1, что соответствует области средневисочной коры слева. В дельта-диапазоне такой области является центральная часть моторной коры слева в проекции отведения С3 А1. Наивысшая активность альфа-, бета- и тета-волн регистрируется в отведении О2 А2, в затылочной области коры справа. Дельта-волны сосредоточены в проекции отведения Fr2 А2, что соответствует лобным областям коры справа. Так синхронизация альфа-, бета- и тета-ритмов в правой затылочной области, дельта-ритма в центральной моторной области слева и их десинхронизация в средневисочной доле слева и правой лобной доле соответственно, могут рассматриваться как единый механизм программы двигательного акта.

Сравнительный анализ амплитудного спектра у мужчин установил наименьшую активность в средневисочной области слева во всех частотных диапазонах, которую записывает отведение Т3 А1. Максимальные значения зафиксированы в отведении О2 А2 в высокочастотном бета-, альфа-, дельта-диапазонах и в отведении Т4 А2 в низкочастотном бета- и тета-диапазонах, что указывает на высокую активность затылочной и средневисочной области справа.

### **Внутрисистемные корреляционные взаимоотношения характеристик электрической активности головного мозга при выполнении произвольного двигательного акта у испытуемых женского и мужского пола**

Был проведен внутрисистемный корреляционный анализ показателей амплитудного спектра ЭЭГ в различных отведениях при выполнении

бимануальных произвольных движений в рамках заданий суппортметрии. В высокочастотном бета-диапазоне у женщин самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями C4 A2 – T3 A1. Самая сильная взаимосвязь выявлена в отведениях Fp1 A1 – C3 A1, что соответствует локализациям в лобной доле слева и центральной моторной области слева, а также Fp2 A2 – C4 A2, что соответствует локализациям в лобной доле справа и центральной моторной области справа. У мужчин самый низкий показатель взаимосвязи между отведениями C3 A1 – T4 A2. Самая сильная взаимосвязь выявлена в отведениях Fp2 A2 – C4 A2, которые характеризуют тесное взаимодействие лобных отделов коры справа и центральной премоторной области справа, а также в отведениях O1 A1– O2 A2, и говорят о сильной связи затылочных отделов коры справа и слева. Данные зависимости показывают высокую активность зрительных ассоциативных зон между собой и усиление связи первичных и третичных моторных полей (Рисунок 1).

В низкочастотном бета-диапазоне у женщин самая низкая связь выявлена между отведениями T3 A1 – T4 A2. Максимальные значения корреляционной связи выявлены в отведениях O1 A1– O2 A2 и говорят нам о сильных взаимодействиях затылочных областей коры справа и слева, которые отвечают за переработку и хранение зрительной информации.

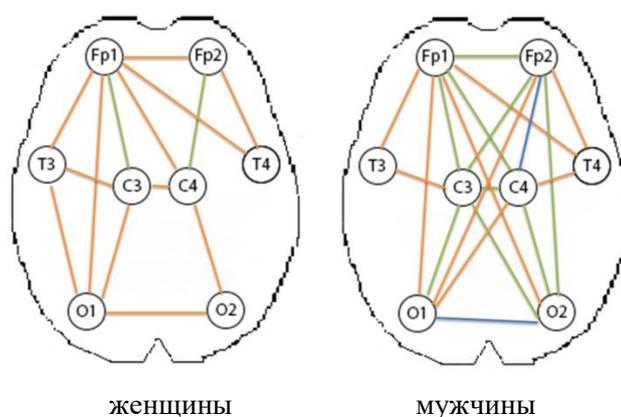


Рисунок 1 – Корреляционные плеяды амплитудного спектра испытуемых женского и мужского пола в высокочастотном бета-диапазоне

Примечание – коэффициенты корреляции Спирмена

— > 0,9; — > 0,8; — > 0,7

Аналогичная ситуация в отведениях C3 A1 – C4 A2 показывает наличие сильной зависимости между центральными отделами премоторной коры. Также сильная связь выявляется в отведениях Fp1 A1 – C3 A1, которая показывает самые сильные взаимосвязи в лобной доле слева и центральной моторной области слева, а также Fp2 A2 – C4 A2, что соответствует локализациям в лобной доле справа и центральной моторной области справа, которые говорят о тесном взаимодействии первичных и передних третичных моторных полей.

У мужчин связь выявлена между отведениями T3 A1 – T4 A2. Наибольший показатель связи выявлен в парах отведений Fp2 A2 – C4 A2 и Fp2 A2 – T4 A2 и говорит о тесноте взаимодействий фронтальных областей коры справа и центральных премоторных областей справа, средневисочных полей справа и характеризует взаимодействие первичных, вторичных и третичных моторных полей между собой. Высокий показатель также установлен между лобной долей слева и центральной премоторной зоной слева, в области проекции отведений Fp1 A1 – C3 A1 и между затылочными участками коры справа и слева, в отведениях O1 A1– O2 A2, которые показывают активизацию зрительной ассоциативной коры (Рисунок 2).

В альфа-диапазоне у женщин самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями O1 A1 – T4 A2. Наивысший коэффициент корреляции зарегистрирован между отведениями Fp1 A1 – Fp2 A2 и характеризует сильную двухстороннюю связь между фронтальными отделами коры слева и справа, а также между отведениями C3 A1 – C4 A2, который показывает сочетанную работу центральных областей премоторной коры и отведениями Fp2 A2 – C4 A2, который указывает на сильную взаимную активацию области лобной коры справа и центральной премоторной коры справа.

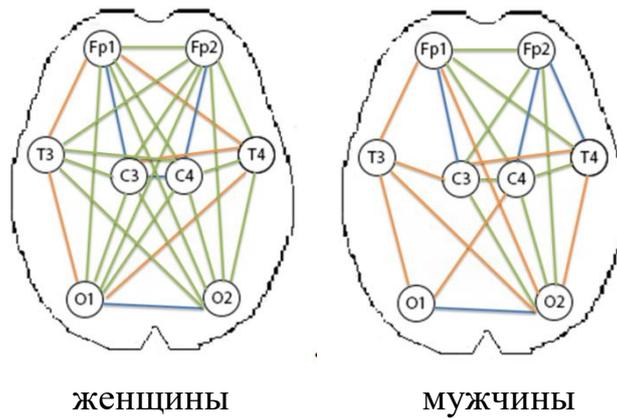


Рисунок 2 – Корреляционные плеяды амплитудного спектра испытуемых женского и мужского пола в низкочастотном бета-диапазоне

Примечание – коэффициенты корреляции Спирмена

— > 0,9; — > 0,8; — > 0,7

У мужчин слабая связь между отведениями O2 A2 – T3 A1. Наивысшие показатели взаимосвязи зафиксированы в парах отведений Fp1 A1 – Fp2 A2, Fp1 A1 – C4 A2, Fp1 A1 – O1 A1 показывают связь между лобной областью коры слева и центральной премоторной областью справа, затылочной областью слева, фронтальной областью справа, в парах отведений Fp2 A2 – O1 A1 установлена связь между фронтальной областью коры слева и затылочной областью справа, в C3 A1 – T3 A1 существует сильная связь между центральным отделом моторной коры слева и средневисочным отделом слева, а также в O1 A1 – O2 A2 говорит о взаимосвязи в затылочных отделах коры справа и слева. Выявленные взаимосвязи показывают тесную работу первичных, третичных моторных полей и области зрительной памяти (Рисунок 3).

В тета-диапазоне у женщин самая низкая прямая двухсторонняя статистически значимая корреляционная связь выявлена между отведениями O1 A1 – T3 A1. Самая выраженная корреляционная связь выявлена в отведениях Fp2 A2 – C4 A2 и говорит о сильном взаимодействии лобной доли справа и центральной премоторной коры справа.

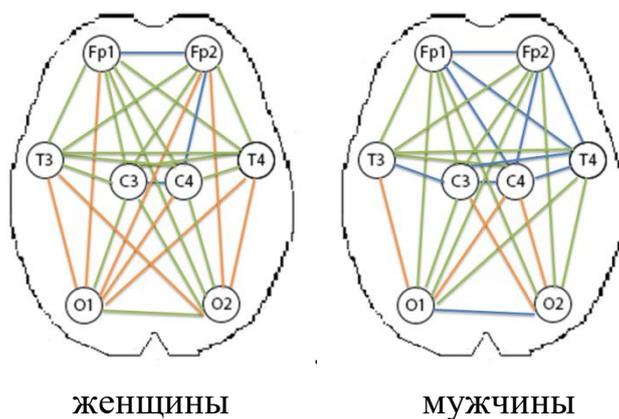


Рисунок 3 – Корреляционные плеяды амплитудного спектра испытуемых женского и мужского пола в альфа-диапазоне

Примечание – коэффициенты корреляции Спирмена

— > 0,9; — > 0,8; — > 0,7

В парах отведений C3 A1 – T4 A2 и T3 A1 – T4 A2 статистически значимых связей не выявлено. У мужчин слабая связь между отведениями O1 A1 – T4 A2. Наивысший показатель зафиксирован в паре отведений Fp1 A1 – Fp2 A2 и говорит о тесной взаимосвязи фронтальных отделов коры больших полушарий между собой (Рисунок 4).

В дельта-диапазоне у женщин самая низкая связь выявлена между отведениями Fp1 A1 – O2 A2, наивысшая в отведениях Fp2 A2 – C4 A2 и говорит о сильной связи фронтальных отделов коры с центральным премоторным отделом справа. Тесная связь в отведениях Fp2 A2 – O1 A1 свидетельствует о взаимодействии фронтальных областей справа и затылочных участков коры слева.

Также центральная премоторная кора справа имеет взаимосвязи с затылочными отделами слева, что видно из показателей в отведениях C4 A2 – O1 A1. Выявленные взаимосвязи показывают на межполушарную трансобластную функциональную асимметрию моторных полей. У мужчин в парах отведений Fp1 A1 – Fp2 A2, Fp1 A1 – C4 A2, Fp1 A1 – O1 A1, Fp1 A1 – T4 A2, Fp2 A2 – C3 A1, Fp2 A2 – O2 A2, Fp2 A2 – T3 A1, C3 A1 – C4 A2, C3 A1 – O1 A1, C4 A2 – O2 A2, C4 A2 – T3 A1, O1 A1 – O2 A2, O1 A1 – T3 A1, O2 A2 – T4 A2, T3 A1 – T4 A2 статистически значимых связей не обнаружено.

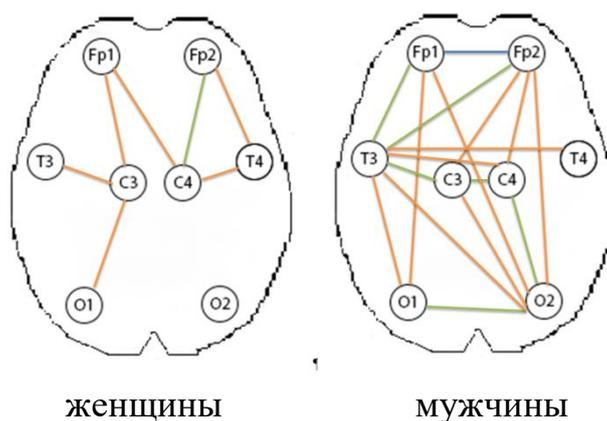


Рисунок 4 – Корреляционные плеяды амплитудного спектра испытуемых женского и мужского пола в тета-диапазоне

Примечание – коэффициенты корреляции Спирмена

—  $> 0,9$ ; —  $> 0,8$ ; —  $> 0,7$

Наименьшая связь установлена в паре отведений O2 A2– T3 A1. Наивысшая активность регистрируется в отведениях C4 A2 – O1 A1 и характеризует тесную работу центральной премоторной области справа и затылочной области слева (Рисунок 5).

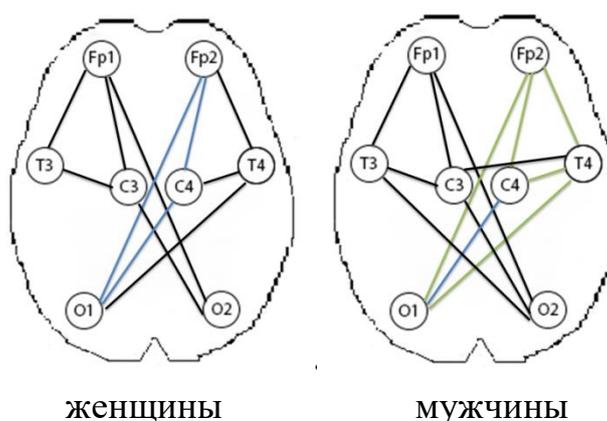


Рисунок 5 – Корреляционные плеяды амплитудного спектра испытуемых женского и мужского пола в дельта-диапазоне

Примечание – коэффициенты корреляции Спирмена

—  $> 0,9$ ; —  $> 0,8$ ; —  $> 0,7$ ; —  $< 0,7$

### Сравнительная характеристика электрической активности головного мозга при выполнении движения в группе испытуемых женского и мужского пола

При сравнительном анализе амплитудного спектра установлено, что в высокочастотном бета-диапазоне во всех отведениях активность коры в исследуемой группе женского пола выше мужской.

В низкочастотном бета-диапазоне наблюдается выраженное преобладание активности у мужчин в средневисочной области справа, в остальных участках коры большая активность сохраняется у женщин. В альфа-диапазоне затылочная область слева и средневисочная область справа у мужчин активнее чем у женщин, в остальных участках преобладает у женщин. В тета-диапазоне в мужской группе выражена активность в средневисочной области справа, в остальных участках у женщин активность более выражена. В дельта-диапазоне у мужчин выражена активность в фронтальной области слева, центральной премоторной области слева, средневисочной области слева и затылочных долях.

**Особенности внутрисистемных корреляционных взаимоотношений электрической активности головного мозга при выполнении произвольного двигательного акта после выполнения заданий суппортметрии у испытуемых женского и мужского пола**

Анализ проводился путем сравнения показателей коэффициента корреляции между различными парами отведений и построения корреляционных плеяд с помощью программы «Корреляционные плеяды» (государственная регистрация программы ЭВМ № 2023664998 от 11.07.2023 г. Кононенко Н.С., Ткаченко П.В., Белоусова Н.И.).

В женской группе в высокочастотном бета-диапазоне отмечается наиболее выраженная взаимосвязь между одноименными отделами фронтальной и центральной премоторной коры. Мультиполярным центром является левая лобная доля, так как в высокочастотном бета-диапазоне активности имеет тесные связи со всеми участками коры, за исключением затылочной области справа. Отличительной особенностью от мужской группы, является наличие связи между средневисочной и затылочной областями слева, и отсутствие связи между центральной премоторной и средневисочной корой справа. Карта двигательного акта в данном диапазоне у мужчин выглядит иначе и характеризуется наличием устойчивых связей между фронтальными, центральными премоторными и затылочными областями коры как разных, так и одноименных полюсов. Мультиполярным центром является центральный

премоторный участок и характеризуется самым большим количеством наиболее тесных связей с другими отделами коры. Важной особенностью является более активное использование центров правого полушария, так фронтальная и затылочные области справа имеют дополнительные связи с противоположными центрами премоторных участков слева. У мужчин в данном диапазоне наименее выражены одноименные связи средневисочных отделов с затылочными областями мозга.

Активность центров коррекции моторного акта в низкочастотном бета-диапазоне у мужчин характеризуется тесными взаимосвязями лобных долей с одноименными участками центральной премоторной коры, а также связью правой фронтальной области с правой средневисочной областью и взаимосвязью затылочных и центральных премоторных долей между собой. Наибольшее сосредоточение статистически значимых связей приходится на правые отделы головного мозга и лобную долю слева, мультиполярным центром, обеспечивающим связи со всеми другими участками, является затылочная доля справа. Наименее взаимосвязанными участками являются затылочные, средневисочные и центральная премоторные поля слева. Коррекция двигательной программы в группе испытуемых женщин в низкочастотном бета-диапазоне характеризуется равномерным распределением связи между отделами головного мозга. Наиболее выраженная связь наблюдается между фронтальными и центральными премоторными отделами одноименной стороны, а также между затылочными областями и центральными премоторными участками между собой. Наименьшая сила связи регистрируется между средневисочными отделами справа и слева с фронтальной и затылочной областью слева.

Женская программа в альфа-диапазоне характеризуется последовательной тесной связью левого фронтального отдела с правым фронтальным отделом, правая лобная область с правой центральной премоторной корой, которая в свою очередь взаимосвязана с центральной премоторной корой слева. Центром с наименее выраженными связями является

затылочная область слева. Отличительной особенностью также является наличие связей средневисочной области слева с правой затылочной областью. В мужской группе исследования характерным является активация и тесная взаимосвязь центров центральных премоторных областей между собой, а также с одноименными средневисочными областями. Также особенностью является наличие взаимных связей между фронтальными областями, центральным премоторным участком справа и средневисочных полей справа. Связь затылочных отделов также сильно выражена.

В тета-диапазоне женская моторная программа характеризуется тесной связью между правыми фронтальным и центральным премоторным отделами, а также наличием связей между центральными премоторными областями с лобными долями и затылочной областью слева. Затылочная область справа остается полностью исключена из всех взаимодействий. В мужской программе наблюдается большее количество взаимосвязей.

В дельта-диапазоне амплитудного спектра в мужской и женской группах исследования наблюдается некоторые отличия, а именно: в женской группе наличие связи в отведениях T3 A1 – O2 A2 и C3 A1 – T4 A2. Сила связи в мужской группе в отведениях Fp2 A2 – T4 A2 выше на 30% ( $p < 0,001$ ), в C4 A2 – T4 A2 выше на 33% ( $p < 0,001$ ), в T4 A2 – O1 A1 выше на 54% ( $p < 0,001$ ). Сильнее у женщин в Fp2 A2 – C4 A2 выше на 4% ( $p < 0,001$ ), в Fp2 A2 – O1 A1 выше на 4% ( $p < 0,001$ ).

## **ВЫВОДЫ**

1. При реализации сложноскоординированных бимануальных движений у мужчин и женщин наблюдается различные механизмы выполнения и коррекции локомоций. Так для мужчин характерен пластичный тип реагирования благодаря выраженной работе звена обратной афферентации и выработке точных коррекционных программ высшими корковыми отделами, в то время как для женщин детерминирована жесткость выполнения изначально выработанной программы локомоции и ориентирована на исправление ошибки, а не ее предотвращение.

2. В ходе последовательного выполнения заданий суппортметрии для мужчин характерна преднастройка, т.е. на основе анализа афферентной информации и имеющегося опыта формируется изначально более точная программа выполнения движения в корковых моторных центрах, в то время как для женщин характерна работа методом «проб и ошибок». Это значит, что для каждого следующего выполнения задания формируется новая энграмма движения путем перестройки имеющейся функционально активной.

3. Анализ межкорковых взаимодействий в результате выработки коррекционных программ сложных бимануальных движений в женской группе показал наличие определённой структуры взаимосвязей, в которую включены лишь фронтальные и премоторные участки, обуславливающие при их ипсилатеральном взаимодействии менее совершенную программу выполнения движения, наблюдаемую во время выполнения заданий суппортметрии. При этом мужская группа характеризуется наличием множества межполушарных связей с активным включением в процесс правой височной области, а также сильное межполушарное взаимодействие затылочной и фронтальной ассоциативной коры, что может говорить о высоком влиянии процессов памяти в более качественной выработке программы двигательного акта.

4. При регистрации быстрых волн электрической активности коры больших полушарий, а именно в бета высокочастотном диапазоне, который характеризует моторную активность, у женщин в левой лобной доле вероятно имеются центры, которые выполняют роль коммутатора для сбора информации с различных участков мозга и формирование первичной коррекционной программы. При этом возможно формирование результирующей коррекционной программы происходит в третичных моторных полях ассоциативной лобной коры справа. Регистрация увеличения альфа активности в центрах коры больших полушарий говорит о последовательной активации в определённом порядке фронтальной ассоциативной коры и премоторной области (кроме того, эти центры обладают диффузными двусторонними связями, которые обеспечивают высшую степень функционирования и

координационной деятельности). Для мужчин в бета диапазоне характерны развитые межполушарные связи и равномерная работа фронтальной коры. При этом регистрация альфа активности характеризуется многосторонними связями правой височной доли с фронтальной и премоторной корой, односторонним включением левой височной области и полигональными связями фронтальной ассоциативной коры с премоторной областью справа.

5. Медленные волны у женщин, в частности тета-ритм, имеет сложную межполушарную асимметрию и обуславливает веерообразное распределение связей. Активность в дельта диапазоне характеризуется диаметральными связями правой фронтальной и левой затылочной ассоциативной коры, говорящей о сильной активации восходящих тормозных структур таламуса и нисходящих активирующихся структур коры. В мужской группе активность в тета диапазоне имеет более выраженные значения и регистрируется множество высокой тесноты мультиполярных связей, что может говорить о высокой степени включения в процесс специфических гиппокампальных ядер. У мужчин в дельта диапазоне в процессе коррекции программы двигательного акта также вовлекается правая височная область и говорит о включении в работу центров пространственной ориентации.

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Выявленные закономерности формирования программ произвольных бимануальных сложнокоординированных движений с учетом гендерной принадлежности, могут служить основой для совершенствования интерфейсов мозг-компьютер и реализации разработок по экзоконечности. Кроме того, может послужить базой для формирования нейросетей и искусственного интеллекта для обеспечения профессионального отбора на производства, связанные с координацией деятельности рук, в различные виды спорта, в том числе и для прогноза успешности спортивной деятельности, профессионального отбора на обучение игре на музыкальных инструментах.

2. Полученные новые фундаментальные данные о внутрисистемных корковых связях при формировании и коррекции программ двигательного акта могут использоваться в учебном процессе медицинских вузов.

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Кононенко Н.С. Электрическая активность мозга при воображении целенаправленных движений рук у лиц, играющих на струнных и клавишных музыкальных инструментах / П. В. Ткаченко, Н. С. Кононенко, А. А. Насмачная // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2023. – Т. 20, № 1. – С. 24-28. – DOI 10.19163/1994-9480-2023-20-1-24-28.

2. Кононенко Н.С. Особенности влияния эмоционального состояния на реализацию произвольных целенаправленных бимануальных движений / Н.С. Кононенко, П.В. Ткаченко, М.А. Затолокина, Ю.А. Прасолова // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2023. – Т. 20, № 4. – С. 94-98. – DOI 10.19163/1994-9480-2023-20-4-94-98.

3. Кононенко Н. С. Половые особенности межкорковых связей в дельта-диапазоне спектра мощности при выполнении произвольных бимануальных целенаправленных движений / Н.С. Кононенко, П.В. Ткаченко / Российские биомедицинские исследования. – 2024. – Т. 9, № 2. – С. 25-30. – DOI 10.56871/RBR.2024.10.39.003.

4. Кононенко, Н. С. Половые особенности внутрисистемных корковых взаимосвязей в бета высокочастотном диапазоне при реализации бимануальных сложнокоординированных движений / Н. С. Кононенко, П. В. Ткаченко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 78-86. – DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-2-78-86. – EDN MТVMNB.

5. Кононенко Н.С. Влияние стрессовых нагрузок в анамнезе на проявление нарушений зрения / Н. С. Кононенко, П. В. Ткаченко, Ю. А. Воробьева, А. А. Несмачная // Вестник новых медицинских технологий. – 2022. – Т. 29, № 3. – С. 5-8. – DOI 10.24412/1609-2163-2022-3-5-8.

6. Кононенко, Н. С. Половые особенности активации коры больших полушарий при реализации движения в дельта диапазоне / Н. С. Кононенко // Павловские чтения 2023 : Материалы IX Международной научно-практической конференции, посвященной 130-летию со дня рождения профессора Н.К. Верещагина, Курск, 13 октября 2023 года. – Курск: Курский государственный медицинский университет, 2023. – С. 236.

7. Кононенко, Н. С. Современные подходы к анализу ЭЭГ активности / Н. С. Кононенко, Е. Д. Пронина, О. Ю. Авдеева // Молодежная наука и современность : Материалы 86-ой Международной научной конференции студентов и молодых ученых, посвященной 86-летию КГМУ: В 3-х томах, Курск, 22–23 апреля 2021 года. Том I. – Курск: Курский государственный медицинский университет, 2021. – С. 17-19.

8. Казначеева, Д. В. Особенности постральной устойчивости у лиц разных полов / Д. В. Казначеева, Н. С. Кононенко // Молодежная наука и современность : Материалы 85-ой Международной научной конференции студентов и молодых ученых, посвященной 85-летию КГМУ, Курск, 23–24 апреля 2020 года. Том Часть I. – Курск: Курский государственный медицинский университет, 2020. – С. 17-19.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023664998 Российская Федерация. Информационная система построения корреляционных плеяд на основании показателя коэффициента корреляции Пирсона «Корреляционные плеяды\_Пирсон»: № 2023664337: заявл. 06.07.2023 : опубл. 11.07.2023 / Н. С. Кононенко, П. В. Ткаченко, Н. И. Белоусова; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023664073 Российская Федерация. Информационная система построения корреляционных плеяд на основании показателя вероятности получения наблюдаемых результатов (p-value) «Корреляционные плеяды\_p-value»: № 2023663101: заявл. 21.06.2023 : опубл. 29.06.2023 / Н. С. Кононенко, П. В. Ткаченко, Н. И. Белоусова, А. С. Малищева ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022660092 Российская Федерация. Информационная система сбора и обработки результатов эксперимента на выявление особенностей психомоторной активности «Корректирующая проба с кольцами»: № 2022619253: заявл. 24.05.2022 : опубл. 30.05.2022 / Ш. К. Зоиров, П. В. Ткаченко, Н. И. Белоусова, Н. С. Кононенко; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВВК – время вне контура

ВНК – время на контуре

ИПК – интегральный показатель координации

КО – количество ошибок

ОВ – общее время

СК – скорость выполнения задания

СР – скорость реакции

фМРТ – функциональная магнитно-резонансная томография

ЦНС – центральная нервная система

ЭЭГ – электроэнцефалография