

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной  
деятельности Национального исследовательского  
Томского государственного университета,  
доктор физико-математических наук, профессор



Ворожцов Александр Борисович

« \_\_\_\_\_ » декабря 2020 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Кайда Анны Ивановны  
на тему «Сенсомоторные ритмы электроэнцефалограммы у детей  
и подростков: особенности реактивности и связи с психологическими  
характеристиками», представленную к защите  
на соискание ученой степени кандидата биологических наук  
по специальности 03.03.01 – Физиология

Работа А. И. Кайда посвящена изучению индивидуальных особенностей реактивности сенсомоторных мю- и бета-ритмов ЭЭГ у детей разного возраста. Согласно имеющимся данным, эти ритмы отражают активность системы зеркальных нейронов, которым отводится важная роль в социальном поведении человека: в интерпретации действий и намерений, в обучении и подражании, в формировании речи и языка, в механизмах эмпатии и др. По мнению некоторых исследователей, нарушение функций этих нейронов может быть причиной аутизма. Имеются данные о том, что частота и реактивность сенсомоторных ритмов существенно зависят от индивидуальных особенностей человека и, в частности, от гендерных различий и возраста человека. Это позволяет по характеристикам сенсомоторных ритмов судить о когнитивных способностях учащихся,

прогнозировать успешность обучения в школе. С другой стороны, изучение системы зеркальных нейронов и реактивности сенсомоторных ритмов представляет интерес в плане разработки новых методов реабилитации пациентов с различными двигательными нарушениями с помощью интерфейсов мозг-компьютер. Поэтому изучение индивидуальных особенностей реактивности сенсомоторных ритмов, как маркеров активности системы зеркальных нейронов, является актуальной задачей современной нейрофизиологии и возрастной физиологии в частности.

Целью работы явилось изучение особенностей реактивности сенсомоторных ритмов ЭЭГ у детей разного возраста и анализ связи реактивности этих ритмов с психологическими характеристиками детей.

Для достижения этой цели автор сформулировал конкретные задачи, которые заключались в изучении амплитудно-частотных характеристик сенсомоторных ритмов ЭЭГ у детей 4–15 лет в состоянии двигательного покоя, особенностей реактивности этих ритмов у детей 4–6, 7–9, 10–12 и 13–15 лет при выполнении, наблюдении и слуховом восприятии движений, а также при имитации движений биологического и небιологического объектов, в изучении связей между реактивностью сенсомоторных ритмов и уровнем развития когнитивных функций и состоянием эмоциональной сферы у детей.

#### **Новизна исследования, полученных результатов и выводов, сформулированных в диссертации**

Научная новизна результатов и основных выводов диссертационной работы А. И. Кайда обусловлена тем, что впервые проведено исследование особенностей реактивности сенсомоторного мю-ритма ЭЭГ в индивидуально определенном частотном диапазоне у детей разного возраста и выявлены особенности реактивности сенсомоторных мю- и бета-ритмов ЭЭГ в различных экспериментальных ситуациях. Получены новые данные, касающиеся особенностей реактивности сенсомоторных ритмов у детей при имитации биологического и небιологического движений. Впервые

исследованы особенности реактивности сенсомоторных ритмов ЭЭГ у детей с разным уровнем интеллектуального развития и различным индивидуальным частотным диапазоном мю-ритма. Выявлены связи между индексами реактивности сенсомоторных ритмов ЭЭГ, показателями произвольного внимания и состояния эмоциональной сферы детей.

#### **Достоверность и обоснованность результатов исследования**

Достоверность представленных результатов и сформулированных автором выводов подтверждается применением современных электрофизиологических и нейропсихологических методов исследования, адекватных поставленной цели и задачам, и достаточным объемом выборки.

Обоснованность выводов и основных положений работы подтверждается полученными результатами, применением корректных методов анализа ЭЭГ и статистической обработки данных.

Основные положения диссертационного исследования доложены на 4 региональных, 4 всероссийских и международных научных конференциях. По теме диссертации опубликовано достаточное количество печатных работ (13), из них 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК, 5 статей – в журналах, индексируемых базами данных SCOPUS и Web of Science, а также патент на изобретение и авторское свидетельство.

#### **Значимость полученных автором результатов**

Результаты исследований диссертанта позволяют расширить имеющиеся знания об особенностях реактивности сенсомоторных ритмов ЭЭГ и их частотных диапазонах у детей разного возраста. Выявленные автором особенности реактивности сенсомоторных ритмов ЭЭГ у детей имеют важное научно-практическое значение, поскольку реактивность этих ритмов лежит в основе нейрофизиологических механизмов обучения, отражает активность системы зеркальных нейронов. Полученные автором результаты изучения реактивности мю-ритма ЭЭГ у детей в условиях имитации биологического и небιологического движений указывают на необходимость учета возрастных особенностей реактивности мю-ритма и характера предъявляемых зрительных

стимулов при разработке интерфейсов мозг-компьютер, предназначенных для реабилитации пациентов с нарушениями двигательных функций, при разработке протоколов БОС-тренингов с учетом индивидуальных частотных диапазонов ритмов ЭЭГ.

### **Объем и структура работы**

Диссертация изложена на 154 страницах машинописного текста, содержит 40 оригинальных рисунков и 4 таблицы, включает следующие разделы: введение, обзор литературы, методика исследования, результаты исследования, обсуждение результатов (4 главы), заключение, выводы, список сокращений, список литературы (290 источников, 258 из которых – на английском языке).

Во введении А.И. Кайда формулирует проблему исследования – изучение индивидуальных особенностей реактивности сенсомоторных ЭЭГ-ритмов у детей разного возраста. Убедительно аргументирует актуальность предпринятого исследования.

В обзоре литературы автор останавливается на анализе имеющихся данных, касающихся амплитудно-частотных характеристик, локализации источников сенсомоторных ритмов, связи параметров этих ритмов с уровнем развития когнитивных функций и состоянием эмоциональной сферы, с активностью зеркальных нейронов. Анализируются данные, касающиеся формирования сенсомоторных ритмов в онтогенезе, особенностей реактивности этих ритмов у детей и взрослых с аутизмом и другими нарушениями психического развития.

Обзор литературных данных завершается кратким резюме, в котором отмечается, что сенсомоторные ритмы представляют собой ЭЭГ-осцилляции в альфа- и бета-диапазонах, регистрируемые во фронтальных, центральных и париетальных областях, наиболее выраженные в состоянии физического расслабления. Десинхронизация этих ЭЭГ-ритмов имеет место, как при выполнении самостоятельных движений, так и при наблюдении за действиями других людей или мысленном представлении движений. Отмечается также, что

модуляции сенсомоторных ритмов коррелируют с уровнем развития когнитивных функций, социального интеллекта и эмпатии, а изменения амплитуды этих ритмов могут отражать активацию зеркальной системы мозга.

Глава, в которой описываются использованные методы, содержит всю необходимую информацию о проведенных экспериментах и методах обработки данных. В предпринятом автором исследовании приняли участие 173 ребенка в возрасте от 4 до 15 лет, из которых 148 – дети-правши с нормальным уровнем физического и умственного развития, 10 – дети-левши с нормальным уровнем физического и умственного развития и 15 – дети-правши с задержками психоречевого развития. Уровень умственного развития детей оценивался по тесту Векслера в вариантах WPPSI и WISC. При изучении показателей внимания и умственной работоспособности детей использовались: корректурная проба Бурдона–Анфимова, «Таблицы Шульте», тест go/no-go. Эмоциональное состояние детей оценивалось с помощью шкалы тревожности для детей, адаптированной А.М. Прихожан, методики Спилбергера-Ханина и методики «Дом – Дерево – Человек».

При наблюдении, выполнении и имитации «биологических» и «небиологических» движений регистрировалась ЭЭГ с помощью электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр – 3» в лобных, центральных, височных, теменных и затылочных отведениях. При обработке ЭЭГ-данных автором использовалась компьютерная программа «WinEEG», определялись средние значения амплитуд ЭЭГ в диапазоне бета- (15–25 Гц) и индивидуального мю-ритмов. С целью нормализации распределения исследуемых ЭЭГ-показателей использовалась log-трансформация, рассчитывались также индексы реактивности.

Результаты электрофизиологического исследования и показатели психологических тестов обрабатывались с использованием пакета STATISTICA 12.0 с использованием параметрических (дисперсионный анализ ANOVA с повторными измерениями) и непараметрических критериев (коэффициент ранговой корреляции Спирмена и критерий Краскела-Уоллиса).

Выбор методов исследования адекватен поставленным в работе задачам, диссертация выполнена на значительном материале (173 ребенка разного пола и возраста), в работе использованы адекватные статистические приемы.

В главе «Результаты исследования» изложены основные результаты исследований диссертанта. В частности, выявлено снижение амплитуды сенсомоторных ритмов с возрастом. Анализ изменений амплитуды сенсомоторного мю- и затылочного альфа-ритма в ситуации выполнения самостоятельных движений позволил автору обнаружить статистически значимое влияние факторов ситуация (СИТ), возрастная группа (ВОЗР) и локус ЭЭГ (ЛОК) на амплитудные характеристики этих ритмов. Обнаружено также совместное влияние факторов СИТ и ЛОК, ЛОК и ВОЗР на амплитудные характеристики бета-ритма. Выполнение самостоятельных движений сопровождалось статистически значимой десинхронизацией мю-ритма в большинстве исследуемых областей у детей всех возрастных групп.

При наблюдении движений также обнаружено статистически значимое влияние факторов СИТ, ВОЗР и ЛОК на амплитуду сенсомоторных мю- и бета-ритмов, а также затылочного альфа-ритма. В этих условиях статистически значимая десинхронизация мю-ритма наблюдалась преимущественно в теменных областях у детей всех возрастных групп.

В то же время при слуховом восприятии движений обнаружено статистически значимое влияние только факторов СИТ и ЛОК на амплитуду сенсомоторных мю- и бета-ритмов. В тех же условиях влияние фактора СИТ на амплитуду затылочного альфа-ритма не установлено. При слуховом восприятии движений десинхронизация мю-ритма наблюдалась преимущественно во фронтальных отведениях у детей 4–6, 10–12 и 13–15 лет, а бета-ритма – в лобных, центральных и теменных отведениях.

Дисперсионный анализ позволил автору обнаружить статистически значимое влияние исследуемых факторов СИТ, ВОЗР и ЛОК на амплитуду исследуемых сенсомоторных ритмов при выполнении движений и имитации действий биологического и небιологического объектов.

Дисперсионный анализ также выявил различия в индексах реактивности мю- и бета-ритма при имитации движений биологического и небιологического объектов у детей разного возраста. При имитации биологического движения происходила десинхронизация исследуемого ритма, а при имитации небιологического движения – синхронизация.

Установлено, что при наблюдении движений дети всех возрастных групп с высоким уровнем интеллекта и низкой индивидуальной частотой мю-ритма демонстрируют более выраженную десинхронизацию мю-ритма, чем дети с высокой частотой этого ритма.

Корреляционный анализ выявил статистически значимые связи между индексами реактивности сенсомоторных ритмов и индивидуально-психологическими характеристиками детей. В частности, в группе детей в возрасте 10–12 лет при наблюдении за движениями обнаружена статистически значимая корреляция между индексом реактивности бета-ритма и уровнем тревожности по методике Прихожан, а у подростков в возрасте 13–15 лет при выполнении движений обнаружена статистически значимая корреляция между индексом реактивности мю-ритма и уровнем личностной тревожности по шкале Спилбергера–Ханина.

Основные результаты работы проиллюстрированы 38 рисунками и 3 таблицами. Автор последовательно отвечает на поставленные в работе вопросы и задачи. Полученные результаты содержат новизну и вносят значительный вклад в решение затрагиваемой проблемы.

В главе «Обсуждение результатов» автор проводит анализ собственных результатов, сопоставляя их с данными научной литературы.

Проведенное исследование позволило автору получить ряд новых данных об особенностях реактивности сенсомоторных ритмов у детей 4–15 лет. В частности, выявлена десинхронизация сенсомоторных ритмов при выполнении, наблюдении и слуховом восприятии движений, которая становилась более выраженной по мере взросления детей. Последнее, по мнению автора, указывает на то, что реакция десинхронизации

сенсомоторных ритмов у детей усиливается по мере развития ЦНС и усвоения определенных двигательных навыков. При имитации движений небиологического объекта чаще всего наблюдалась синхронизация сенсомоторных ритмов. При подражании движениям биологического объекта выявлена десинхронизация сенсомоторных ритмов, что, по мнению автора, может указывать на активацию системы зеркальных нейронов, которая обеспечивает понимание действий и намерений других людей.

Полученные автором данные указывают на перспективность проведения дальнейших исследований реактивности сенсомоторных ритмов ЭЭГ у детей и открывают возможности разработки новых методов оценки когнитивного развития и коррекции психоречевых и двигательных нарушений у детей с использованием современных нейро- и психофизиологических технологий.

Заключение содержит описание всех основных выявленных результатов в совокупности с их сжатой оценкой и интерпретацией, придает работе завершенность.

Выводы, которые делает автор, отражают полученные результаты, четко сформулированы и не вызывают сомнения. Научные положения, выносимые на защиту, резюмируют полученные данные и отражают поставленные задачи, обоснованы и логично вытекают из представленных результатов.

### **Замечания и вопросы**

Замечания по работе:

1. Рисунки 2.1А и 2.1Б мало информативны, поскольку практически не отличаются.

2. В описании процедуры расчета индивидуального частотного диапазона мю-ритма (стр. 19) указано, что представленная методика расчета основывалась на выделении отрезка ЭЭГ шириной 2 Гц в диапазоне от 6 до 13 Гц. Поскольку отрезок ЭЭГ представляет собой участок записи ЭЭГ какой-то длительности, это затрудняет понимание указанной процедуры расчета.



3. Чтобы учесть возможное влияние затылочного альфа-ритма на характеристики сенсомоторного мю-ритма, автор определяет индивидуальные частоты мю-ритма и затылочного альфа-ритма, но поскольку частотные диапазоны этих ритмов перекрываются, а их индивидуальные частоты теоретически могут совпадать, такой подход представляется недостаточно надежным. К тому же, это не позволяет учесть возможное влияние на исследуемую мю-активность височного тау-ритма, который подавляется при слуховой стимуляции. По нашему мнению, для этих целей лучше использовать предварительную цифровую фильтрацию ЭЭГ для выделения мю-ритма с последующим определением его источников расчетными методами.

Кроме того, в процессе знакомства с диссертацией возникли следующие вопросы:

1. Почему дети—«левши» манипулировали мышью правой рукой? Не является ли это результатом переучивания этих детей?

2. При регистрации ЭЭГ в работе использовались височные отведения, но в результатах исследования данные по этим отведениям не представлены. Почему?

Отмеченные недостатки работы не влияют на ее общую положительную оценку.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

### **Заключение**

Диссертационная работа Кайда Анны Ивановны «Сенсомоторные ритмы электроэнцефалограммы у детей и подростков: особенности реактивности и связи с психологическими характеристиками» по своей актуальности, научной цели, использованным методам исследования, полученным результатам и их достоверности, обоснованности выводов, научно-практической значимости работы является законченным научно-квалификационным исследованием, в котором содержится решение научной задачи, заключающейся в выявлении возможных электрофизиологических

механизмов и факторов, обеспечивающих оценку и прогнозирование когнитивных способностей детей разного возраста, имеющей значение для развития возрастной физиологии, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции от 01 октября 2018 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.03.01 – Физиология.

Отзыв на диссертацию А. И. Кайда обсужден и одобрен на заседании кафедры физиологии человека и животных федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» 03 декабря 2020 г., протокол № 5.

Профессор кафедры физиологии человека и животных  
федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования «Национальный исследовательский  
Томский государственный университет»

(Почтовый адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36;

телефон: (3822) 52-98-52;

E-mail: rector@tsu.ru; адрес сайта: www.tsu.ru),

доктор биологических наук,

профессор



Бушов Юрий Валентинович

Телефон: (3822) 52-96-00

E-mail: bushov@bio.tsu.ru

03 декабря 2020 г.



*Подпись заверено*  
СПЕЦИАЛИСТ ПО КАДРАМ  
ОТДЕЛА КАДРОВ  
Т. В. ШЕМЯКИНА  
*Шемякина*  
11.12.2020