На правах рукописи



Манасевич Виктория Алексеевна

НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ОБРАБОТКИ ВРЕМЕНИ НАРАСТАНИЯ И ЧАСТОТЫ ПРОСТЫХ СЛУХОВЫХ СТИМУЛОВ ПРИ ТИПИЧНОМ РАЗВИТИИ И ПРИ РАССТРОЙСТВЕ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

1.5.24. Нейробиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Федеральная территория «Сириус»

2026

Работа выполнена в научном центре педагогики и развития таланта автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Научно-технологический университет «Сириус»

Научный руководитель: **Сысоева Ольга Владимировна**
кандидат психологических наук
Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Научно-технологический университет «Сириус»

Защита состоится «14» декабря 2026 г. в 15:00 на заседании диссертационного совета НТУ.1.5.24.32 в АНОО ВО «Университет Сириус» по адресу 354340, Краснодарский край, федеральная территория «Сириус», Олимпийский пр., д.1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте АНОО ВО «Университет Сириус» https://siriusuniversity.ru/sveden/science/obyavleniya-o-zashchitakh

Автореферат разослан «13» ноября 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат психологических наук  Карпова Н. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Одной из главных проблем в психиатрии является проблема объективности диагностики различных психических патологий. Именно поэтому важную роль в этой сфере могут сыграть биомаркеры – измеримые физиологические показатели, которые могут указывать на наличие или характер патологических процессов не только в организме человека, но и в структуре его психики. В последние годы исследования в области биомаркеров психических расстройств получили значительное развитие, открывая новые перспективы для ранней диагностики, прогнозирования прогрессирования заболевания и выбора индивидуальных методов вмешательства.

Однако, несмотря на прогресс в генетических и нейрофизиологических исследованиях расстройства аутистического спектра (РАС), диагноз по-прежнему основывается на клинических симптомах и использует международные классификационные системы, такие как DSM-5 или МКБ-11, которые ориентированы на поведенческие нарушения, а не на биологические показатели. Использование нейрофизиологических маркеров может предоставить более точные инструменты для диагностики и в будущем позволить пересмотреть классификационные системы, основываясь на этиологии заболевания, а не только на поведенческих симптомах. Высокая гетерогенность расстройства аутистического спектра (как с этиологической, так и с патогенетической точки зрения) обуславливает необходимость выделения разных нейрофизиологических профилей заболевания, что, в свою очередь, имеет важное значение для улучшения диагностики, разработки индивидуализированных подходов к лечению и понимания биологических основ этих расстройств.

Одним из ключевых аспектов улучшения диагностики РАС является идентификация и использование измеримых показателей, которые могут помочь в определении как наличия расстройства, так и сопутствующих ему дефицитов. Биомаркеры могут быть полезными инструментами для ранней диагностики, выбора оптимальной стратегии коррекции когнитивных и поведенческих нарушений и оценки эффективности такой коррекции у пациентов с РАС. В этом контексте особый интерес представляют неинвазивные нейрофизиологические методы, в частности электроэнцефалография (ЭЭГ) и вызванные потенциалы (ВП), позволяющие регистрировать мозговую активность с высоким временным разрешением и изучать нейрональные процессы, лежащие в основе слухового восприятия как при типичном развитии, так и при различных нарушениях развития.

Изменения в структуре таких аудиальных электрофизиологических компонентов как устойчивая негативная волна (УВ, sustained negative wave, SW) и слуховой стационарный ответ (ССО, auditory steady-state response, ASSR) описываются в литературе как один из потенциальных аудиальных предикторов некоторых синдромальных форм расстройства аутистического спектра, а также некоторых нейрофизиологических профилей идиопатической формы этого расстройства. В то же время, за пределами активного исследовательского внимания остается временной параметр огибающей звука – время нарастания (ВН, rise time, RT), критически важный для анализа динамических изменений речевого сигнала. Однозначной связи между этими нейрофизиологическими изменениями и различными проявлениями расстройства аутистического спектра, однако, на данный момент не установлено. Причина этого может заключаться в том, что расстройство аутистического спектра является крайне гетерогенным и зачастую бывает связано с различными интеллектуальными и речевыми дефицитами. В данной диссертационной работе предпринята попытка проследить различия между изменениями ответа на аудиальные стимулы у детей с РАС и детей с типичным развитием.

Степень разработанности темы исследования

Нейрофизиологические исследования слуховой обработки при расстройстве аутистического спектра в последние годы получили значительное развитие. В литературе описаны нарушения обработки как простых, так и сложных звуковых сигналов у детей с РАС, включая трудности в различении временных характеристик звука, таких как частота, длительность и интенсивность (O'Connor 2012; Rotschafer 2021). В частности, было показано, что дети с РАС демонстрируют снижение амплитуды компонента P1 в ответ на простые звуки, а также нарушение модуляции P1 при изменении параметров стимуляции (Gonçalves and Monteiro 2023; Rotschafer 2021). Изменения в структуре нейрофизиологических ответов на простые слуховые стимулы, таких как устойчивая негативная волна и слуховой стационарный ответ, рассматриваются в литературе как потенциальные аудиальные предикторы некоторых синдромальных форм РАС, а также отдельных нейрофизиологических профилей его идиопатической формы (Arutiunian et al. 2025; Kinjo et al. 2026; Neklyudova et al. 2024; Seymour et al. 2020; Stroganova et al. 2020). Однако, существует недостаток исследований половых различий в этих нейрофизиологических ответах у нейротипичных детей, что, учитывая неравномерность встречаемости РАС у мальчиков и девочек, затрудняет потенциальное использование этих возможных предикторов в клинической практике.

В то же время, параметры обработки временной структуры звука, в частности ответы на время нарастания звука, остаются малоизученными в контексте данной патологии. Предыдущие исследования обработки RT в клинических педиатрических выборках были сосредоточены преимущественно на дислексии (J. Hämäläinen et al. 2011; J. A. Hämäläinen et al. 2008; Leong et al. 2011; Leong and Goswami 2014; Peter et al. 2016; Stefanics et al. 2011), в то время как при РАС аналогичные исследования не проводились. Между тем, время нарастания является одним из наиболее важных акустических параметров, играющих критическую роль в восприятии как речевых, так и неречевых звуков, и лежит в основе восприятия динамических характеристик звука (Howell and Rosen 1983; Kalashnikova et al. 2019; Walsh and Diehl 1991).

Кроме того, остаются недостаточно изученными половые различия в слуховой латерализации у типично развивающихся детей и их связь с речевыми навыками, а также возрастная динамика слуховых вызванных потенциалов и их модуляция различными параметрами стимулов в детском возрасте. Эти факторы необходимо учитывать при интерпретации групповых различий между детьми с РАС и их типично развивающимися сверстниками.

Таким образом, на данный момент существует пробел в понимании нейрофизиологических механизмов обработки простых слуховых стимулов у детей с РАС, в особенности обработки временных характеристик звука, а также их связи с речевыми навыками, половыми и возрастными особенностями.

Цель и задачи исследования

Целью данной работы является выявление нейрофизиологических особенностей обработки простых слуховых стимулов на ранних этапах слуховой обработки у детей с типичным развитием и с расстройством аутистического спектра.

Задачи исследования:

1. Изучение возрастной динамики и половых различий слухового стационарного ответа (ССО) и устойчивой волны (УВ) при ритмической стимуляции 40 Гц у типично развивающихся детей 3–6 лет, включая оценку латерализации УВ и её связи с показателями слухоречевого восприятия.
2. Определение общих для детей 3–10 лет закономерностей слуховой обработки: латерализации и возрастной динамики компонентов слуховых вызванных

потенциалов (P1, N2, P1N2) при типичном развитии и при расстройстве аутистического спектра.

3. Сравнительный анализ обработки времени нарастания (ВН) звука у детей с РАС и типичным развитием на основе амплитудно-латентностных характеристик компонентов слуховых вызванных потенциалов P1, N2 и P1N2.

Объект исследования

Слуховая обработка простых акустических сигналов (ритмической стимуляции и тональных стимулов с варьирующим временем нарастания) как нейрофизиологический процесс.

Предмет исследования

ЭЭГ-паттерны обработки времени нарастания и ритмической стимуляции 40 Гц, включая латерализацию, возрастно-половые особенности и связь с речью.

Гипотезы исследования

У типично развивающихся детей дошкольного возраста будут наблюдаться межполовые различия в нейрофизиологических ответах на ритмическую слуховую стимуляцию 40 Гц, проявляющиеся в разной степени полушарной асимметрии устойчивой волны, при этом характер этих ответов будет связан с показателями слухоречевого восприятия.

Нейрофизиологические паттерны обработки времени нарастания звука (rise time) у детей с РАС будут отличаться от таковых у типично развивающихся сверстников, что проявляется в изменении амплитудно-латентностных характеристик слуховых вызванных потенциалов при вариации времени нарастания звукового стимула.

Научная новизна исследования состоит в следующих аспектах:

Впервые систематизированы данные о модуляции слуховых вызванных потенциалов временем нарастания: показано, что увеличение ВН снижает амплитуду и увеличивает латентность основных компонентов ВП на всех уровнях обработки – от ствола мозга до корковых структур, при этом исследования обработки ВН в клинических группах ограничены дислексией, а при РАС отсутствуют.

Впервые выполнено эмпирическое исследование обработки ВН у детей с расстройством аутистического спектра в возрасте 4–10 лет; ранее обработка ВН изучалась преимущественно у детей с дислексией, тогда как при РАС аналогичные исследования отсутствовали.

Впервые показано, что у детей с РАС обработка ВН характеризуется атипичными паттернами модуляции компонентов слуховых вызванных потенциалов (P1, N2, P1N2) в диапазоне коротких и средних значений ВН (30–60 мс), что указывает на нарушение временной динамики слуховой обработки при РАС. Обнаружено снижение амплитуды P1 при коротких значениях ВН (15-60 мс) у детей с РАС, что свидетельствует об ослаблении кодирования быстрых акустических переходов на ранних этапах корковой обработки.

Впервые выявлены возрастные изменения слуховых вызванных потенциалов (увеличение амплитуды N2 и P1N2 с возрастом) у детей 4–10 лет в контексте обработки ВН, а также показано, что правополушарное преобладание амплитуд P1, N2 и P1N2 является стабильной характеристикой слуховой обработки в этом возрасте, не зависящей от диагностической группы и временных параметров стимула.

Впервые показаны половые различия в латерализации устойчивой волны (УВ) при ритмической слуховой стимуляции 40 Гц у типично развивающихся детей 3–6 лет. Показано, что у мальчиков УВ характеризуется правополушарным преобладанием, у девочек — симметричным ответом, а степень правополушарной латерализации УВ у мальчиков отрицательно связана с качеством распознавания речи в шуме.

Теоретическая значимость исследования

В данной работе были выявлены нейрофизиологические особенности обработки простых слуховых стимулов у детей с типичным развитием и с расстройством аутистического спектра. Впервые показано, что у детей с РАС обработка времени нарастания звука характеризуется атипичным паттерном модуляции латентности N2 и амплитуды P1N2 в диапазоне коротких и средних значений времени нарастания (30–60 мс), а также снижением амплитуды P1 при коротких значениях RT по сравнению с типично развивающимися сверстниками. Полученные данные расширяют представления о механизмах слуховой обработки при РАС и указывают на избирательный характер нарушений: наиболее выраженные отклонения наблюдаются в диапазоне быстрых акустических переходов, критически важных для фонетического различения, тогда как обработка более длительных значений RT остаётся относительно сохранной.

В работе также были выявлены возрастные изменения слуховых вызванных потенциалов (увеличение амплитуды N2 и P1N2 с возрастом) и стабильное правополушарное преобладание амплитуд P1, N2 и P1N2, не зависящее от диагностической группы и времени нарастания, что вносит вклад в понимание созревания слуховой коры в детском возрасте.

Кроме того, в работе были описаны половые различия в латерализации устойчивой волны (УВ) у детей 3–6 лет и показана связь степени правополушарной латерализации УВ с качеством распознавания речи в шуме у мальчиков, что расширяет представления о нейробиологических основах речевого развития с учётом пола.

Проделанная работа вносит вклад в понимание мозговых механизмов обработки информации в слуховой системе у типично развивающихся детей и при РАС.

Практическая значимость исследования

Результаты работы имеют потенциал практического использования в клинической и образовательной сферах. Выявленные в работе нейрофизиологические паттерны (снижение амплитуды P1 при коротких RT, атипичная модуляция N2 и P1N2 у детей с РАС) могут применяться в клинических исследованиях РАС в качестве потенциальных электрофизиологических маркеров нарушений слуховой обработки. Предложенные потенциальные нейромаркеры после дополнительных исследований, в том числе оценки их чувствительности и специфичности, смогут служить для оценки степени тяжести и динамики слуховых нарушений при РАС, а также для оценки эффективности коррекционных вмешательств.

Парадигма с варьированием времени нарастания потенциально может быть адаптирована для использования в клинических группах с различными нарушениями развития для оценки сохранности механизмов обработки быстрых темпоральных сигналов. Парадигма с ритмической стимуляцией 40 Гц, демонстрирующая чётко выраженную устойчивую волну уже в 3 года, может быть использована для раннего выявления риска нарушений развития.

Выявленные в работе особенности стимул-специфической обработки при РАС при объединении с результатами других исследований позволят в перспективе разработать целостные нейрофизиологические профили данного заболевания, учитывающие пол, возраст и речевой статус ребёнка. Это, в свою очередь, может способствовать разработке более персонализированных подходов к диагностике и коррекции нарушений слуховой обработки и связанных с ними речевых трудностей.

Методология и методы исследования

Методологической основой работы послужил систематический обзор ЭЭГ-коррелятов обработки времени нарастания, позволивший выделить компоненты слуховых вызванных потенциалов (P1, N2, P1N2), наиболее чувствительные к

изменению ВН у детей, и определить неисследованную область — обработку ВН при РАС.

Метод электроэнцефалографии (ЭЭГ) — 32-канальная система actiCHamp (Brain Products GmbH, Германия), частота оцифровки 50 кГц, референт FCz, импеданс <10 кОм, экранированная камера, без онлайн-фильтров (DC – 10.3 кГц).

Экспериментальные парадигмы:

а) ритмическая слуховая стимуляция 40 Гц – оценка слухового стационарного ответа (ССО) и устойчивой волны (УВ);

б) варьирование времени нарастания (ВН) (тоны 500 Гц, 400 мс, RT: 15, 30, 60, 120, 240 мс) — оценка компонентов вызванных потенциалов P1, N2 и амплитуды P1N2.

Диагностические методики:

а) SRS-2 (Social Responsiveness Scale, 2nd edition) — скрининговый опросник для родителей для количественной оценки аутистических черт;

б) ADOS-2 (Autism Diagnostic Observation Schedule, 2nd edition) – поведенческая диагностическая методика для оценки социально-коммуникативного развития;

в) ADI-R (Autism Diagnostic Interview – Revised) – полуструктурированное интервью с родителем для оценки социально-коммуникативного развития ребёнка.

Поведенческие методики:

а) PLS-5 (Preschool Language Scale, 5th edition) — оценка рецептивной и экспрессивной речи;

б) Оценка речи в шуме (Speech in noise) — оценка восприятия речи в шуме.

Таблица 1. Характеристика выборки и распределение участников по экспериментам и методикам

Эксп.	Группа	N	Пол(м/ж)	Возраст,мес (M±CO)	Методики
1	ТР	57	30/27	64,35±11,96	ЭЭГ 40 Гц; PLS-5; псевдослова; речь в шуме(n=30)
2	РАС	21	15/6	83,5±18,2	ЭЭГ ВН; ADOS-2; ADI-R(n=2); SRS-2; PLS-5(n=16); Leiter-3(n=18)
2	ТР	21	15/6	83,8±19,1	ЭЭГ ВН; SRS-2; PLS-5(n=14); Leiter-3(n=18)

Положения, выносимые на защиту:

1. Устойчивая волна (УВ) является стабильным и информативным компонентом слуховых вызванных потенциалов у детей 3–6 лет, в отличие от слухового

стационарного ответа (ССО), который в этом возрасте слабо выражен и находится на ранних этапах созревания

2. Характер латерализации устойчивой волны (УВ) у типично развивающихся детей 3–6 лет различается между мальчиками и девочками: у мальчиков наблюдается правополушарное преобладание, у девочек — симметричный ответ, при этом степень правополушарной латерализации УВ у мальчиков отрицательно связана с эффективностью распознавания речи в шуме.

3. Нарушение обработки времени нарастания (ВН) звукового стимула у детей с расстройством аутистического спектра (РАС) носит избирательный характер: снижение амплитуды компонента P1 при коротких ВН (15–60 мс) и атипичная модуляция латентности N2 и амплитуды P1N2 в диапазоне 30–60 мс сочетаются с относительной сохранностью обработки более длительных ВН, что свидетельствует об ослаблении кодирования быстрых акустических переходов и нарушении временной динамики слуховой обработки.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Достоверность результатов обеспечивается соблюдением этических норм и научных принципов проведения теоретического и эмпирического исследования, применением методов, адекватных поставленным задачам, достаточным объёмом и репрезентативностью выборок в обоих экспериментах. Достоверность нейрофизиологических данных подтверждается использованием современного оборудования для регистрации ЭЭГ и стандартизированных протоколов предобработки, а также применением обоснованных методов статистического анализа, включая линейные смешанные модели и многоуровневые дисперсионные модели с коррекцией множественных сравнений. Надёжность поведенческих и диагностических данных обеспечена использованием валидированных методик (ADOS-2, ADI-R, SRS-2, PLS-5). Промежуточные результаты диссертационного исследования были представлены на всероссийских и международных конференциях:

1. VI Форум по когнитивным нейронаукам (VI Cognitive Neuroscience Forum), УрФУ им. Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия), 7-9 декабря 2023, устный доклад «Связь устойчивой негативной волны с вербальными и невербальными аспектами развития у типично развивающихся детей»

2. Вторая междисциплинарная научно-практическая конференция “Инклюзивное образование - инклюзивное общество”, НТУ «Сириус», ФТ Сириус, Россия, 8-10 ноября 2023, устный доклад «Инклюзия в медицине и когнитивных исследованиях»

3. Пятая Всероссийская научно-практическая конференция «Ментальное здоровье - интеграция подходов», г. Нижний Новгород, Россия, 6 декабря 2023, устный доклад «Инклюзия в медицине и когнитивных исследованиях»

4. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Мозг и интеллект», посвященная 95-летию со дня рождения Л.С. Цветковой (Москва, 4 – 5 декабря 2024), онлайн-выступление с докладом “ЭЭГ-ответы на щелчки частотой 40 Гц у типично развивающихся детей в возрасте 3–6 лет: межполовые различия”

5. Всероссийская научная конференция «Императив академика А.А. Ухтомского — мозг и его самопознание» 15-18 апреля 2025 (Санкт-Петербург) с публикацией тезисов, доклад «ЭЭГ-ответы на щелчки частотой 40 Гц у типично развивающихся детей в возрасте 3–6 лет: межполовые различия»

6. VIII Международный форум «COGNITIVE NEUROSCIENCE – 2025», 12-13 декабря 2025, Екатеринбург, доклад «ЭЭГ-корреляты обработки времени нарастания слухового сигнала»

7. Пятая Всероссийская научно-практическая конференция «Ментальное здоровье - интеграция подходов», г. Нижний Новгород, Россия, 6 декабря 2023, устный доклад «Инклюзия в медицине и когнитивных исследованиях»

8. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Мозг и интеллект», посвященная 95-летию со дня рождения Л.С. Цветковой (Москва, 4 – 5 декабря 2024) в формате онлайн-доклада «ЭЭГ-ответы на щелчки частотой 40 Гц у типично развивающихся детей в возрасте 3–6 лет: межполовые различия»

9. VIII Международный форум «COGNITIVE NEUROSCIENCE – 2025», 12-13 декабря 2025, Екатеринбург, доклад «ЭЭГ-корреляты обработки времени нарастания слухового сигнала»

Теоретические наработки диссертационного исследования были использованы и апробированы для подготовки и прочтения следующих образовательных курсов и семинаров:

Дополнительная профессиональная программа «Современные методы когнитивных исследований», Научный центр когнитивных исследований, НТУ «Сириус», ФТ Сириус, Россия, 23 марта-6 апреля 2023 (практикум по транскраниальной электростимуляции мозга)

Курсы «Спецпрактикум по нейробиологии» (практикум по транскраниальной электростимуляции мозга), «Нейробиология поведения и психических процессов» (семинар «Нейрофизиология сна») в программе магистратуры «Нейробиология» НТУ «Сириус» (2023, 2024).

Дополнительная профессиональная программа «Расстройства аутистического спектра: наука и практика», Научный центр когнитивных исследований, НТУ «Сириус», онлайн, 3-15 апреля 2023, 2-14 октября 2023, 1-13 апреля 2024, 3-18 июня 2024 (лекции «Этиология РАС», «Нейрофизиологические маркеры РАС», «РАС и другие коморбидные нарушения развития», семинар «Доказательный подход к диагностике и вмешательствам при РАС», практическое занятие «Методы поиска научных исследований по заданным критериям»).

Публичная лекция для психологов детских садов и школ г. Воронежа «Современные инструменты диагностики детей, находящихся в зоне риска или имеющих ментальные особенности развития», 26 апреля 2024 г., Центр психолого-педагогической, медицинской и социальной помощи, г. Воронеж, Россия

ДПП “Расстройства аутистического спектра: наука и инклюзия”, лекции “Этиология РАС”, “Нейрофизиологические маркеры РАС”, 15-25 сентября 2025 г., Приволжский медицинский государственный университет, Россия (дистанционно)

ДПП “Расстройства речи и чтения”, лекция “Теория развития языка и речи, методологические подходы и методики для исследования навыков чтения и письма”, 11 марта-24 апреля 2026 Научный центр когнитивных исследований, НТУ «Сириус», онлайн

Структура и объем диссертации

Данная диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, выводов и списка литературы, включающего 162 наименования. Работа иллюстрирована 4 таблицами и 9 рисунками, имеет 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи, объект и предмет, гипотезы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены методология и положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации представляет собой обзор литературы, посвящённый современным представлениям о расстройстве аутистического спектра (РАС), речевым и коммуникативным нарушениям при РАС, а также нейрофизиологическим коррелятам слуховой обработки в норме и при патологии.

В разделе 1.1 рассматривается история изучения аутизма, начиная с работ Л. Каннера (1943) и Г. Аспергера (1944) и заканчивая современными классификационными подходами DSM-5 и МКБ-11. Анализируются данные о распространённости РАС (около 2% в общей популяции и 2,2% в РФ, соотношение мужчин и женщин 4:1) и этиологии расстройства, включая генетические и средовые факторы. В разделе подробно представлены речевые нарушения при РАС, которые характеризуются сложной структурой, включающей как количественные (задержка, регресс), так и качественные (прагматические, просодические, фонетические) компоненты. Центральное место занимают трудности использования речи для социального взаимодействия. Рассматриваются различные теоретические подходы к объяснению речевых нарушений при РАС: аффективные модели (Hobson, 1990, 1993), когнитивные модели, включая теорию «модели психического» (Baron-Cohen, 1985, 1988), и сенсорные теории, в частности, теория сенсорной интеграции Э. Джин Айрес (Ayres, 1972). Отдельное внимание уделяется сенсорным нарушениям при РАС, которые встречаются у 90–97% лиц с РАС (Consoli et al., 2025). Описаны три основных типа атипичных сенсорных реакций: гиперчувствительность, гипочувствительность и сенсорный поиск. Рассматривается модель каскадных эффектов (Masten & Cicchetti, 2010; Cascio et al., 2016), согласно которой ранние различия в сенсорном развитии могут приводить к нарушениям более сложных функций, включая речь и социальное взаимодействие.

В разделе 1.2 анализируются психоакустические основы восприятия речи и нейрофизиологические корреляты слуховой обработки. Временная и спектральная обработка звука рассматриваются как два фундаментальных процесса, лежащих в основе восприятия речи. При предъявлении ритмических слуховых стимулов регистрируются два типа электрофизиологических ответов: слуховой стационарный ответ (ССО), отражающий временную обработку и способность точно отслеживать темпоральные характеристики звука, и устойчивая волна (УВ), связанная со спектральной обработкой и кодированием высоты звука. В литературе показано, что оба типа ответов нарушены при РАС и синдроме Ретта (Neklyudova et al., 2024; Stroganova et al., 2020). Рассматривается возрастная динамика созревания этих компонентов: ССО в возрасте 3–6 лет выражен слабо и полностью созревает лишь к 12 годам (Cho et al., 2015; Edgar et al., 2016), тогда как УВ чётко выражена уже в 3–6 лет (Manasevich et al., 2025).

Значительное внимание уделяется времени нарастания (ВН, rise time) как ключевому акустическому параметру, играющему критическую роль в восприятии речи. На фонемном уровне короткое ВН критично для различения взрывных согласных, тогда как более протяжённое ВН характерно для щелевых сонорных. На слоговом уровне ВН выступает коррелятом метрической структуры: ударные слоги характеризуются более длительным ВН. На нейрофизиологическом уровне обработка ВН надёжно отражается в слуховых вызванных потенциалах, причём увеличение ВН закономерно приводит к снижению амплитуды и увеличению латентности компонентов ВП на всех уровнях обработки – от ствола мозга до корковых структур.

Раздел 1.3 содержит систематический обзор ЭЭГ-коррелятов обработки ВН, проведённый в соответствии с рекомендациями PRISMA. В обзор включено 37 исследований, охватывающих период с 1968 по 2022 год. Анализ включённых исследований показал, что увеличение ВН приводит к снижению амплитуды и увеличению латентности компонентов вызванных потенциалов (ВП) на всех уровнях обработки. Наиболее согласованные результаты получены для компонентов

коротколатентных стволовых вызванных потенциалов (КСВП) (волна V), N1 и P2. Чувствительность ЭЭГ-маркеров варьирует в зависимости от уровня обработки: для стволовых структур минимальный диапазон составляет десятки микросекунд, для корковых структур – около 15 мс. Выявлены возрастные изменения: у детей раннего возраста эффекты ВН на компоненты N1-P2 отсутствуют, появляясь только после 6 лет. Исследования обработки ВН при речевых нарушениях выполнены преимущественно на детях с дислексией, причём их результаты противоречивы. В обзоре показано, что при РАС обработка ВН не исследовалась, что делает данное направление актуальным для дальнейших исследований. Сводные результаты систематического обзора приведены на Рис. 1.

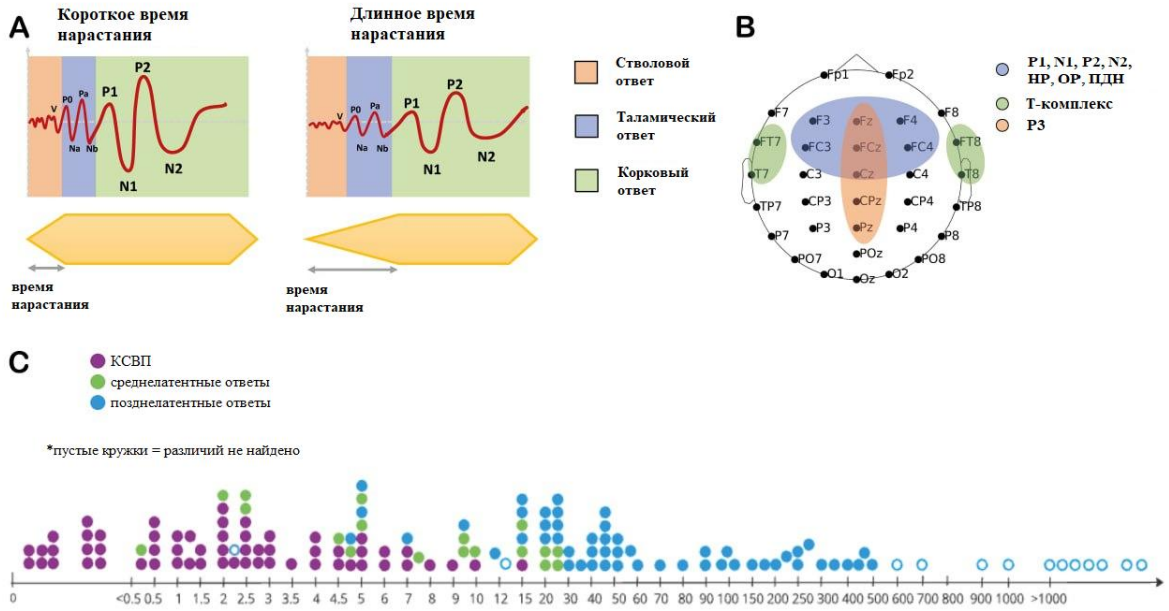


Рисунок 1 – Сводные результаты систематического обзора. (A) Схематическое изображение зависимости между длительностью ВН и амплитудой и латентностью основных компонентов слуховых ВП. Короткое ВН (слева) приводит к более резкому началу, что обуславливает большую амплитуду и меньшую латентность. Длительное ВН (справа) приводит к более постепенному началу, что обуславливает меньшую амплитуду и большую латентность. (B) Типичное распределение основных компонентов ВП, рассмотренных в обзоре, по поверхности головы. Топографические карты показывают приблизительное расположение электродов, где каждый компонент регистрируется оптимально. (C) Различия во ВН (в мс) в наблюдаемых исследованиях

В разделе 1.4 формулируется постановка проблемы диссертационной работы. В литературе описаны изменения ССО и УВ при РАС, однако интерпретация этих изменений как биомаркеров РАС затруднена, поскольку в типичном развитии пол и возраст сами по себе модулируют характеристики слуховых ответов. Для РАС учёт этих факторов имеет особое значение вследствие неравномерного соотношения мальчиков и девочек (4:1) и возрастных траекторий формирования слуховых ответов. В отличие от ССО и УВ, обработка ВН при РАС не исследовалась, хотя ВН является ключевым акустическим параметром, обеспечивающим различение фонем и восприятие просодики. Таким образом, для понимания нейрофизиологических особенностей обработки простых слуховых стимулов при РАС необходимо, с одной стороны, выделить половые и возрастные эффекты в типичном развитии, которые могут выступать интерферирующими факторами; с другой стороны, впервые исследовать обработку ВН у детей с РАС в сравнении с типично развивающимися сверстниками.

Вторая глава содержит описание материалов и методов исследования, которое проводилось в рамках двух экспериментов.

В Эксперименте 1 приняли участие 57 детей с типичным развитием (27 девочек) в возрасте от 42 до 82 месяцев. Регистрация ЭЭГ осуществлялась с использованием 32-канальной системы Brain Products actiCHamp с частотой дискретизации 50 кГц. Стимуляция представляла собой серии щелчков частотой 40 Гц и длительностью 500 мс. Стимулы предъявлялись бинауурально через наушники громкостью 65 дБ. Предобработка данных выполнялась с помощью пакета MNE для Python и включала фильтрацию, интерполяцию плохих каналов, удаление глазодвигательных артефактов с помощью анализа независимых компонент (ICA), сегментацию на эпохи от –200 до 800 мс. Для анализа слухового стационарного ответа использовалась фазовая когерентность (ITPC) в диапазоне 39–41 Гц на электроде Fz. Для анализа устойчивой волны использовалось среднее значение амплитуды ВП во временном окне 250–550 мс на электродах F3 и F4. Дополнительно рассчитывался индекс латеральности (ИЛ) для УВ по формуле (амплитуда УВ на F4 – амплитуда УВ на F3) / (амплитуда УВ на F3 + амплитуда УВ на F4). Поведенческое исследование включало оценку речевого развития с помощью методики PLS-5, тест на повторение псевдослов и оценку восприятия речи в шуме (расчёт расстояния Левенштейна). Для сравнения групп по поведенческим данным использовался t-критерий Стьюдента; для анализа ССО и УВ – дисперсионный анализ (ANCOVA) с факторами «Пол» и «Электрод» и ковариатой «Возраст».

В Эксперименте 2 приняли участие две группы детей: 21 ребёнок с РАС и 21 типично развивающийся ребёнок, сопоставимые по полу и возрасту (всего 42 ребёнка, возраст 4–10 лет). Диагноз РАС подтверждался с помощью ADOS-2; в неоднозначных случаях дополнительно использовался ADI-R. Для количественной оценки аутистических черт использовалась SRS-2. В качестве стимулов использовались чистые тоны с пятью значениями ВН (15, 30, 60, 120, 240 мс), частотой 500 Гц и длительностью 400 мс. Предобработка ЭЭГ-данных включала фильтрацию в диапазоне 0.5–40 Гц, интерполяцию плохих каналов, удаление глазодвигательных артефактов с помощью анализа независимых компонент (ICA), сегментацию на эпохи от –100 до 500 мс и перереферирование на усреднённые мастоидные электроды TP9 и TP10. Для анализа компонентов P1 и N2 использовалось полуавтоматическое обнаружение пиков в окнах 65–200 мс и 200–450 мс соответственно на электродах FC5 и FC6. Латентность оценивалась как 50% площадь под кривой, амплитуда – как среднее в окне ±10 мс от пика. Рассчитывалась межпиковая амплитуда P1N2. Статистический анализ проводился с использованием линейных смешанных моделей (LMM) с фиксированными эффектами Группы (РАС/ТР), ВН (5 уровней), Полушария (FC5/FC6) и их взаимодействиями, с ковариатой «Возраст» и случайным эффектом для каждого участника. При обнаружении значимых эффектов проводились пост-хок тесты с коррекцией FDR.

Третья глава содержит описание результатов исследования.

В Эксперименте 1 было показано, что ССО во всей выборке статистически значимо отличается от нуля ($t(56) = 22.63$, $p < 0.001$), что подтверждает наличие ответа даже у детей младшего возраста. Дисперсионный анализ с ковариатой ANCOVA выявил значимый эффект возраста ($F(1,54) = 6.601$, $p = 0.013$, частичный $\eta^2 = 0.109$); эффект пола не был статистически значимым ($F(1,54) = 0.141$, $p = 0.709$). Таким образом, ССО увеличивается с возрастом, но межполовых различий не обнаруживает. (Рис. 2)

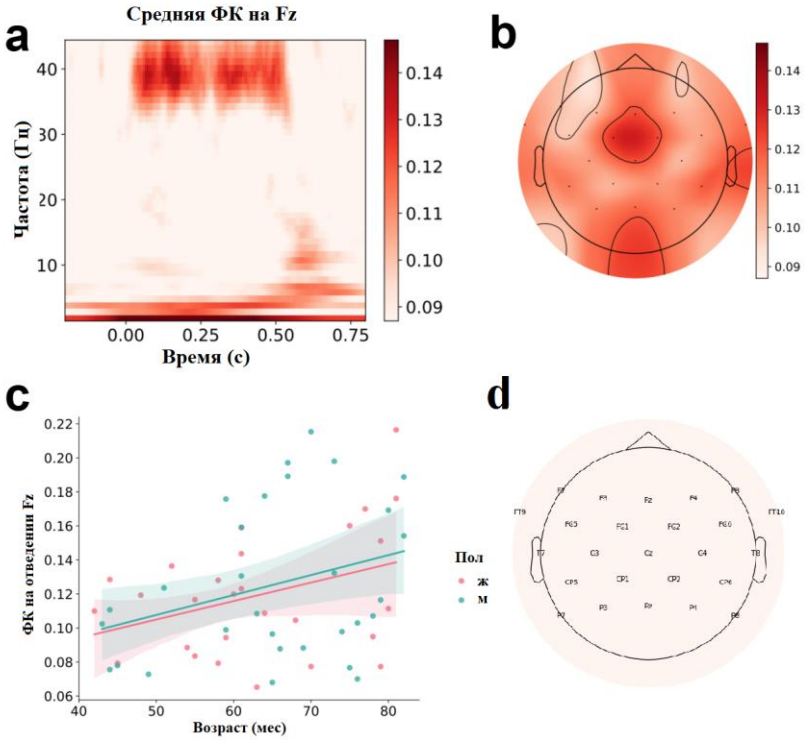


Рисунок 2 – Усредненная фазовая когерентность (ФК) на Fz (A), топография ФК в диапазоне 39–41 Гц в течение 0–500 мс после стимуляции (B) и диаграмма рассеяния значений ФК на Fz в зависимости от возраста (C), где красные и синие точки представляют девочек и мальчиков соответственно. (D) отражает местоположение электродов

В отличие от ССО, устойчивая волна была чётко выражена и стабильна в исследуемом возрастном диапазоне. Дисперсионный анализ с ковариатой ANCOVA для УВ выявил значимое взаимодействие факторов Электрод × Пол ($F(1,54) = 4.231$, $p = 0.045$, частичный $\eta^2 = 0.073$). В группе мальчиков наблюдалась значимо более выраженная УВ на электроде F4 по сравнению с F3 ($t(29) = 2.609$, $p = 0.014$), что указывает на правополушарное преобладание. В группе девочек значимых различий между электродами не обнаружено ($t(26) = -0.424$, $p = 0.675$). При сравнении мальчиков и девочек по каждому электроду в отдельности значимых различий не выявлено. Таким образом, у мальчиков 3–6 лет наблюдается правополушарная асимметрия УВ, тогда как у девочек ответ симметричен (Рис.3).

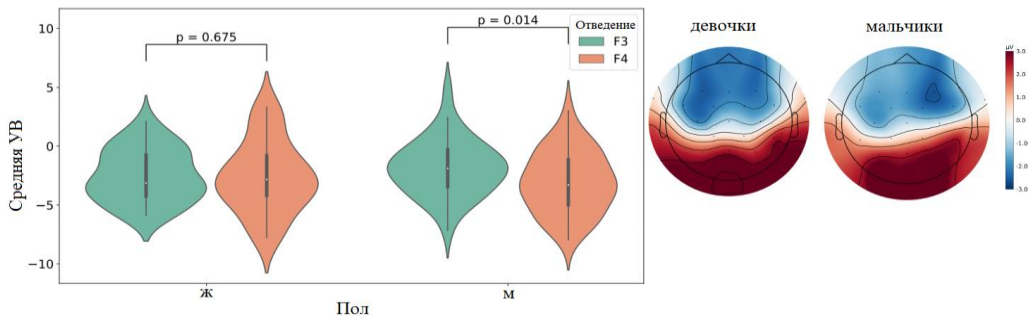


Рисунок 3 – Амплитуда и топография устойчивой волны (УВ) на отведениях F3 и F4 у девочек и мальчиков

Корреляционный анализ показал, что у мальчиков (n=14) индекс латеральности УВ положительно коррелирует с расстоянием Левенштейна в тесте на восприятие речи в шуме (r = 0.698, p = 0.012), то есть чем более выраженным было правополушарное преобладание, тем хуже мальчики распознавали слова в шуме (Рис.4).

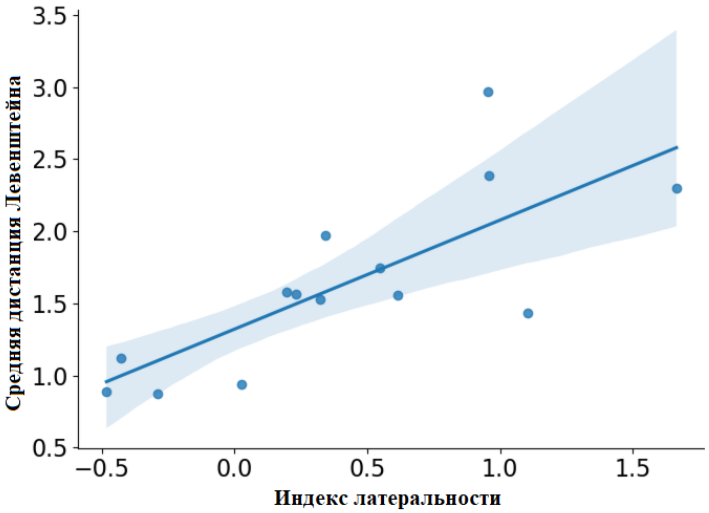


Рисунок 4 – Взаимосвязь между результатами теста на восприятие речи в шуме и латерализацией УВ у мальчиков. Результаты теста представлены в виде среднего расстояния Левенштейна для каждого участника. Расстояние Левенштейна измеряет количество ошибок между услышанными и повторёнными словами

В Эксперименте 2 анализ компонентов P1 и N2 показал следующие результаты. По амплитуде P1 линейная смешанная модель выявила значимый основной эффект Группы ($F(1, 42) = 6.63$, $p = .014$, $\eta^2p = .136$): у детей с РАС амплитуда P1 была значимо ниже по сравнению с ТР. Обнаружен значимый эффект Полушария ($F(1, 378) = 7.28$, $p = .007$, $\eta^2p = .019$) и ВН ($F(4, 378) = 2.42$, $p = .048$, $\eta^2p = .025$), а также значимое взаимодействие Группа × ВН ($F(4, 378) = 3.29$, $p = .011$, $\eta^2p = .034$). Пост-хок сравнения показали снижение амплитуды P1 в группе РАС по сравнению с ТР при 15 мс ($t(40) = –2.68$, $p(FDR) = .026$) и при 60 мс ($t(40) = –2.73$, $p(FDR) = .026$), с тенденцией при 30 мс ($p(FDR) = .072$). В группе ТР амплитуда P1 закономерно снижалась с удлинением ВН, тогда как в группе РАС она оставалась стабильно низкой во всех условиях. По латентности P1 модель выявила значимые эффекты ВН ($F(4, 378) = 24.79$, $p < .001$, $\eta^2p = .208$) и Полушария ($F(1, 378) = 6.30$, $p = .013$, $\eta^2p = .016$); групповых различий не обнаружено. По амплитуде N2 выявлены эффекты Полушария ($F(1, 378) = 5.26$, $p = .022$, $\eta^2p = .014$) и Возраста ($F(1, 42) = 6.52$, $p = .014$, $\eta^2p = .134$), что отражает увеличение амплитуды N2 с возрастом. По латентности N2 обнаружены значимые эффекты ВН ($F(4, 378) = 7.26$, $p < .001$, $\eta^2p = .071$) и взаимодействие Группа × ВН ($F(4, 378) = 3.14$, $p = .015$, $\eta^2p = .032$). В группе ТР наблюдалось закономерное увеличение латентности N2 с ростом ВН. В группе РАС выявлен атипичный паттерн: снижение латентности при 60 мс по сравнению с 30 мс ($t(20) = 3.26$, $p(FDR) = .022$), тогда как в группе ТР такого снижения не наблюдалось. По межпиковой амплитуде P1N2 выявлены эффекты ВН ($F(4, 378) = 4.23$, $p = .002$, $\eta^2p = .043$), Полушария ($F(1, 378) = 23.31$, $p < .001$, $\eta^2p = .058$) с большей амплитудой в правом полушарии, Возраста ($F(1, 42) = 4.67$, $p = .036$, $\eta^2p = .100$), а также

взаимодействие Группа × ВН ($F(4, 378) = 2.74$, $p = .029$, $\eta^2p = .028$). В группе ТР наблюдалось закономерное снижение амплитуды P1N2 с ростом ВН. В группе РАС амплитуда P1N2 достигала минимального значения при 60 мс с последующим восстановлением при 120 и 240 мс (внутригрупповые сравнения: 60 мс ниже 15 мс, $t(20) = 3.87$, $p(FDR) = .009$, и 30 мс, $t(20) = 3.59$, $p(FDR) = .009$). На Рис. 5 показаны различия между группами по амплитуде P1, латентности N2 и амплитуде P1N2 в зависимости от ВН.

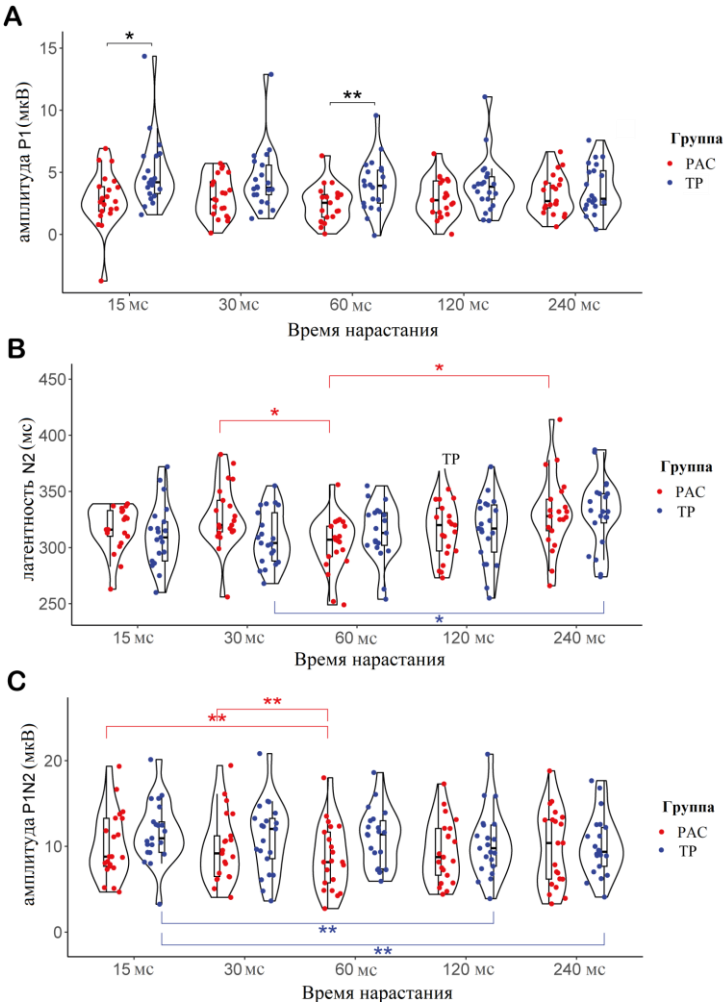


Рисунок 5 – Различия между группами по амплитуде P1, латентности N2 и амплитуде P1N2 в зависимости от ВН (15–240 мс). (A) Сниженная амплитуда P1 у лиц с РАС по сравнению с типично развивающимися детьми, наблюдаемая при ВН 15, 30 и 60 мс. (B) Различные паттерны изменения N2 в группах лиц с РАС и типично развивающихся детей. (C) Различные паттерны изменения P1N2 в группах лиц с РАС и типично развивающихся детей. Звездочками обозначен уровень статистической значимости (*p* < .05, **p* < .01, ***p* < .001 с поправкой FDR)

Четвёртая глава посвящена обсуждению полученных результатов.

В Эксперименте 1 подтверждено ранее описанное возрастное увеличение ССО. Отсутствие половых различий в ССО у детей 3–6 лет расширяет данные, полученные ранее на взрослых, и свидетельствует о сходных темпах развития этого компонента у мальчиков и девочек. В отличие от ССО, устойчивая волна была чётко выражена и стабильна у детей 3–6 лет, что указывает на её потенциал как раннего маркера нарушений развития. Выявленные половые различия в латерализации УВ –

правополушарное преобладание у мальчиков и симметричный ответ у девочек – согласуются с более широкой литературой о половых различиях в слуховой латерализации и впервые демонстрируют этот эффект у детей дошкольного возраста. Обнаруженная связь между степенью правополушарной латерализации УВ у мальчиков и худшим распознаванием речи в шуме указывает на функциональную значимость данного нейрофизиологического паттерна для речевого развития.

В Эксперименте 2 обсуждаются нейрофизиологические особенности обработки ВН у детей 4–10 лет. Возрастные изменения ВП (увеличение амплитуды N2 и P1N2 с возрастом) согласуются с литературными данными о созревании слуховой коры. Обнаруженные атипичные паттерны у детей с РАС включают: (1) снижение амплитуды P1 при коротких ВН (15 и 60 мс), что свидетельствует об ослаблении кодирования быстрых акустических переходов на ранних этапах корковой обработки; (2) атипичную динамику латентности N2 (снижение при 60 мс по сравнению с 30 мс), что указывает на нарушение дифференциации ответов в диапазоне 30–60 мс, где в норме проходит граница между восприятием быстрых и постепенных акустических переходов; (3) атипичную траекторию амплитуды P1N2 (минимум при 60 мс с последующим восстановлением), что указывает на нарушение ожидаемого монотонного снижения амплитуды вдоль континуума ВН. Схождение атипичных паттернов по трём показателям в диапазоне 30–60 мс позволяет предположить системное нарушение обработки акустических сигналов с ВН в этом диапазоне, критическом для различения фонетических контрастов.

Обсуждается сравнение полученных данных с исследованиями по дислексии. В отличие от дислексии, где дефициты ВН проявляются преимущественно в оддболл-условиях и связаны с фонологической обработкой, при РАС нарушения носят более генерализованный характер, затрагивая модуляцию ответов внутри континуума ВН. Рассматривается гетерогенность РАС как возможная причина отсутствия групповых различий при более длительных ВН. Обсуждается потенциальное перекрытие N2 и устойчивой волны, учитывая пролонгированную структуру N2, наблюдаемую у детей в данной выборке. Отмечается, что правополушарное преобладание амплитуд P1, N2 и P1N2 является стабильной характеристикой слуховой обработки, не зависящей от диагноза и ВН.

В заключительной части главы сопоставляются результаты двух экспериментов. Оба эксперимента указывают на важность правополушарных процессов в обработке звука. В Эксперименте 1 чрезмерная правополушарная латерализация УВ у мальчиков связана с худшим распознаванием речи в шуме. В Эксперименте 2 устойчивое правополушарное преобладание амплитуд P1, N2 и P1N2 наблюдалось в обеих группах, что позволяет предположить, что базовые механизмы межполушарной организации не нарушены при РАС в данной возрастной группе. Оба эксперимента подчёркивают важность учёта половых различий и возраста при изучении слуховой обработки. Разные временные масштабы слуховой обработки (ССО и УВ при ритмической стимуляции vs. ВН при тоновой стимуляции) могут быть нарушены при РАС по-разному, что требует исследования разных уровней слуховой обработки.

В заключении обобщены основные результаты работы. В первом эксперименте показано, что УВ чётко выражена у детей 3–6 лет, в отличие от ССО, который слабо выражен и находится в процессе созревания. Выявлены половые различия в латерализации УВ (правополушарное преобладание у мальчиков, симметричный ответ у девочек). Степень правополушарной латерализации УВ у мальчиков отрицательно связана с распознаванием речи в шуме. Во втором эксперименте у детей с РАС выявлены множественные нарушения обработки ВН: снижение амплитуды P1 при коротких ВН (15–60 мс), атипичная модуляция латентности N2 и амплитуды P1N2 в диапазоне 30–60

мс, при сохранности обработки длительных ВН (120–240 мс). Правополушарное преобладание амплитуд P1, N2 и P1N2 является стабильной характеристикой, не зависящей от диагноза и ВН. Полученные результаты имеют значение для понимания нейрофизиологических механизмов слуховой обработки при РАС и могут быть использованы для разработки объективных маркеров нарушений слуховой обработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были исследованы нейрофизиологические корреляты слуховой обработки у детей в двух экспериментальных парадигмах. В первом эксперименте изучалась реакция на ритмическую стимуляцию 40 Гц у типично развивающихся дошкольников 3–6 лет, а во втором – обработка времени нарастания чистых тонов у детей с РАС и их типично развивающихся сверстников 4–10 лет.

В первом эксперименте было продемонстрировано, что у детей 3–6 лет наблюдается чётко выраженная устойчивая волна, в то время как слуховой стационарный ответ в этом возрасте ещё слабо выражен и находится в процессе активного созревания. Выявлены значимые половые различия в топографии УВ: у мальчиков наблюдается правополушарное преобладание, тогда как у девочек ответ симметричен. Обнаруженная корреляция между степенью правополушарной латерализации УВ и качеством распознавания речи в шуме у мальчиков подтверждает функциональную значимость данного нейрофизиологического паттерна для речевого развития: чем более выраженным было правополушарное преобладание, тем хуже мальчики распознавали слова в шуме. При этом поведенческих различий между мальчиками и девочками в речевых тестах не наблюдалось, что указывает на возможные различия в стратегиях обработки слуховой информации при сходной итоговой эффективности.

Во втором эксперименте было показано, что у детей с РАС наблюдаются множественные нарушения обработки времени нарастания звука. Амплитуда P1 была снижена у детей с РАС при коротких значениях времени нарастания (15-60 мс) по сравнению с типично развивающимися сверстниками, что указывает на более слабое кодирование быстрых акустических переходов на ранних этапах корковой обработки. Латентность N2, отражающая более высокоуровневые слуховые процессы, продемонстрировала атипичный паттерн модуляции в группе РАС: снижение латентности при 60 мс по сравнению с 30 мс, тогда как в группе ТР наблюдалось закономерное увеличение латентности с ростом ВН. Амплитуда P1N2 также показала атипичную траекторию в группе РАС: минимальное значение при 60 мс с последующим восстановлением, тогда как в группе ТР наблюдалось закономерное снижение амплитуды с ростом ВН. Это указывает на системное нарушение модуляции нейрональных ответов внутри континуума ВН у детей с РАС, наиболее выраженное в диапазоне быстрых акустических переходов (15–60 мс). При этом обработка более длительных значений ВН (120–240 мс) оставалась относительно сохранной, что свидетельствует об избирательном характере дефицита.

В отличие от предыдущих исследований, в нашей работе не было обнаружено групповых различий в степени правополушарной латерализации компонентов ВП: устойчивое правополушарное преобладание амплитуд P1, N2 и P1N2 наблюдалось в обеих группах, что подтверждает роль правого полушария в обработке темпоральных характеристик звука. Это позволяет предположить, что базовые механизмы межполушарной организации слуховой обработки, по крайней мере на уровне амплитудных характеристик, не нарушены при РАС в данной возрастной группе, а наблюдаемые в литературе различия в латерализации могут быть связаны с другими факторами, включая возраст, параметры стимуляции или половой состав выборки.

Ключевым результатом, объединяющим оба эксперимента, является демонстрация связи между эффективностью базовых слуховых процессов и речевыми навыками. В первом эксперименте связь нейрофизиологического паттерна (латерализации УВ) с речевым навыком (восприятие речи в шуме) была обнаружена только у мальчиков, что подчёркивает важность учёта половых различий при изучении нейробиологических основ речевого развития. Во втором эксперименте атипичные паттерны модуляции N2 и P1N2 у детей с РАС свидетельствуют о нарушении временной динамики обработки слуховой информации, что может лежать в основе трудностей восприятия речевых контрастов, зависящих от временных характеристик звука, и способствовать более широким нарушениям языка и коммуникации, характерным для РАС.

Полученные в работе данные позволили описать процесс слуховой обработки на системном уровне – во взаимосвязи с полом, возрастом, диагностической принадлежностью и речевыми навыками. Выраженность и стабильность УВ в возрасте 3–6 лет указывают на её потенциал как раннего маркера нарушений нейроразвития. Снижение амплитуды P1 при коротких RT, атипичный паттерн латентности N2 и атипичная траектория P1N2 в группе РАС могут служить электрофизиологическими коррелятами дефицита обработки быстрых слуховых переходов при РАС, в то время как сохранность обработки длительных ВН указывает на избирательный характер нарушений.

Ограничением работы является то, что половые различия УВ анализировались только в группе типично развивающихся детей 3–6 лет. В Эксперименте 2, включавшем детей с РАС и их типично развивающихся сверстников 4–10 лет, регистрировались вызванные потенциалы на тональные стимулы с варьирующим ВН, а не УВ на ритмическую стимуляцию 40 Гц. Кроме того, при сбалансированном соотношении полов между группами (по 6 девочек в каждой) общее число девочек (n = 12) было недостаточным для статистически надёжного анализа межполовых эффектов. Поэтому вопрос о половых различиях УВ при РАС в настоящей работе не ставился и рассматривается как перспектива дальнейших исследований с большими выборками, сбалансированными по полу, и лонгитюдным дизайном.

В качестве перспективы дальнейшей разработки темы также можно выделить следующие направления. Лонгитюдные исследования позволят определить, предсказывают ли атипичные паттерны модуляции N2 и P1N2 в раннем возрасте последующие речевые исходы при РАС, и как меняется латерализация УВ с возрастом у мальчиков и девочек. Исследования на больших выборках со сбалансированным соотношением полов необходимы для более надёжного изучения взаимодействия пола и диагноза в латерализации слуховых ответов, а также для разделения вкладов возраста, пола и диагноза в формирование паттернов слуховой обработки.

Обнаруженная связь между нейрофизиологическими маркерами (атипичная модуляция N2 и P1N2, латерализация УВ) и речевыми показателями открывает перспективы для использования данных парадигм в клинической практике. В частности, парадигма с варьированием времени нарастания, выявившая множественные атипичные паттерны в группе РАС, может быть адаптирована для использования в клинических группах с различными нарушениями развития для оценки сохранности механизмов обработки быстрых темпоральных сигналов и их модуляции. Парадигма с ритмической стимуляцией 40 Гц, демонстрирующая чётко выраженную УВ уже в 3 года, может быть использована для раннего выявления риска нарушений развития.

Выявленные в работе особенности стимул-специфической обработки при РАС при объединении с результатами других исследований позволят в перспективе разработать целостные нейрофизиологические профили данного заболевания,

учитывающие пол, возраст и речевой статус ребёнка. Это, в свою очередь, может способствовать разработке более персонализированных подходов к диагностике и коррекции нарушений слуховой обработки и связанных с ними речевых трудностей.

ВЫВОДЫ

1. Латерализация устойчивой волны (УВ) у типично развивающихся детей 3–6 лет характеризуется половыми различиями: правополушарным преобладанием у мальчиков и симметричным ответом у девочек, причём степень правополушарной латерализации УВ у мальчиков отрицательно связана с успешностью распознавания речи в шуме; слуховой стационарный ответ (ССО) в этом возрасте слабо выражен и находится на ранних этапах созревания.
2. Правостороннее преобладание амплитуд компонентов P1, N2 и P1N2, а также более длительная латентность P1 над правым полушарием являются стабильными характеристиками слуховой обработки у детей 3–10 лет и не зависят от ВН и диагностической группы; амплитуда N2 и P1N2 увеличивается с возрастом как в группе РАС, так и в группе типичного развития, что отражает продолжающееся созревание слуховых корковых процессов в этом возрастном диапазоне.
3. Обработка времени нарастания (ВН) у детей с РАС имеет атипичные паттерны: амплитуда компонента P1 снижена при коротких ВН (15–60 мс) по сравнению с типично развивающимися сверстниками, что свидетельствует об ослаблении кодирования быстрых акустических переходов на ранних этапах корковой обработки; латентность N2 и амплитуда P1N2 изменяются неравномерно, с наиболее выраженным отклонением от ожидаемой динамики в диапазоне 30–60 мс, тогда как у типично развивающихся детей наблюдается закономерное увеличение латентности N2 и снижение амплитуды P1N2 с удлинением ВН.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Manasevich, V**., Neklyudova, A. & Sysoeva, O. Sex differences in the lateralization of sustained electrophysiological response to 40 Hz clicks in typically developing preschoolers. Sci Rep 15, 30548 (2025). https://doi.org/10.1038/s41598-025-08266-x
2. **Manasevich V.,** Kostanian D., Rogachev A., Sysoeva, O. EEG correlates of auditory rise time processing: A systematic review. PLOS ONE, 2026. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0345343
3. **Manasevich, V.,** Kostanian, D., & Sysoeva, O. (2026). Neurophysiological Processing of Rise Time in Children with Autism Spectrum Disorder. Brain Sciences, 16(10), 1010. https://doi.org/10.3390/brainsci16101010