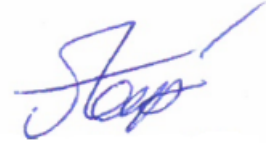


На правах рукописи



Начарова Маргарита Александровна

**АНАЛИЗ ЭЭГ ПРИ СЛУХОВОМ ВОСПРИЯТИИ СЛОВ
У ТИПИЧНО РАЗВИВАЮЩИХСЯ ДЕТЕЙ И ДЕТЕЙ
С НАРУШЕНИЯМИ РЕЧИ**

1.5.5 – Физиология человека и животных

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Симферополь – 2024

Работа выполнена на кафедре физиологии человека и животных и биофизики Института биохимических технологий, экологии и фармации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского».

Научный руководитель: **Павленко Владимир Борисович**
доктор биологических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Бабенко Виталий Вадимович**
доктор биологических наук, профессор,
Федеральное государственное автономное учреждение высшего образования
«Южный федеральный университет»,
профессор кафедры психофизиологии и клинической психологии.

Ляксо Елена Евгеньевна
доктор биологических наук, профессор,
Федеральное государственное автономное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет»,
профессор кафедры высшей нервной деятельности и психофизиологии.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Защита состоится 10 июня 2024 года в 11.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.318.08 при ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» по адресу: 295007, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Ялтинская, 20, зал защиты диссертаций (аудитория 301).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного автономного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», а также на сайте университета: <https://science.cfuv.ru/dissertacionnye-raboty-soveta-d-242-318-08/nacharova-margarita-aleksandrovna>.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2024 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.318.08,
к.б.н., доцент

Хусаинов Д.Р.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Речь является необходимым компонентом познавательной и коммуникативной деятельности человека (Выготский, 1934), а степень развития речевой сферы – определяющим фактором уровня когнитивного и социального развития ребенка (Cristia et al., 2014; Burchinal et al., 2020). Ключевым элементом в процессе становления речи считают формирование у детей способности к восприятию и пониманию речевых сигналов (Ушакова, 2004; Станкова и др., 2020). Для оценки функционирования головного мозга при восприятии различных сигналов широкое распространение получил метод регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) (Klimesh, 1999; Кропотов, 2010). С использованием данного метода проведено значительное количество исследований речевого восприятия у взрослых, однако работы в области изучения процесса восприятия речи у детей малочисленны и зачастую противоречивы. Особенно актуальным является анализ восприятия и понимания речи у детей дошкольного возраста, результаты которого могут быть учтены при разработке способов раннего выявления нарушений данного процесса.

Сложности в восприятии речи являются основным проявлением тяжелого детского языкового расстройства – нарушения рецептивной речи (F80.20 по МКБ-10), или импрессивной (сенсорной) алалии (Трауготт, 1975; Александрова и др., 2016). Предполагают, что у детей с сенсорной алалией нарушены функции центра Вернике и межполушарные связи при отсутствии нарушений слуха и первично сохранном интеллекте (Бобылова и др., 2017; Визель, 2020). При этом у значительной части детей с алалией не выявлены очаговые поражения мозга (Визель, 2020). Несмотря на имеющиеся данные о связи нарушения восприятия речи с частотой выявления эпилептиформных и локальных патологических изменений в фоновой ЭЭГ (Лукашевич и др., 2011; Бобылова и др., 2017), специфические паттерны ЭЭГ у детей с нарушением понимания речи до сих пор не найдены. Выявление специфических паттернов ЭЭГ во время слухового восприятия речи у детей с сенсорной алалией имеет как теоретическую значимость, заключающуюся в уточнении механизмов нарушения понимания речи, так и практическую значимость, поскольку может быть использовано для оценки эффективности коррекционных занятий и разработки протоколов тренингов с биологической обратной связью, направленных на оптимизацию состояния детей. Особый интерес представляет исследование паттернов ЭЭГ в процессе речевого восприятия у тех детей с нарушением рецептивной речи, у которых не выявлено патологической ЭЭГ-активности во время стандартного клинического обследования.

Исследование реактивности ЭЭГ во время слухового восприятия речи у типично развивающихся детей и их сверстников с нарушениями речи является актуальным как для получения более полной картины механизмов восприятия речевых высказываний типично развивающимися детьми разных возрастов, так и для выявления специфических паттернов ЭЭГ у детей с нарушением понимания речи.

Степень разработанности темы исследования. Несмотря на схожесть динамики ЭЭГ при восприятии речи у детей и взрослых, появляется все больше свидетельств того, что паттерны ЭЭГ-реакций меняются с возрастом (Schneider et al., 2018; Schneider et al., 2019). Например, дети десяти лет во время чтения слов демонстрируют более выраженное по сравнению со взрослыми увеличение тета-активности в правом полушарии (Spironelli et al., 2010), а в 12-летнем возрасте правополушарная синхронизация тета-активности значительно уменьшается (Maguire et al., 2022). В большинстве работ изучается процесс чтения слов и предложений у детей школьного возраста (Schneider et al., 2021; Maguire et al., 2022), который невозможно исследовать у детей более раннего возраста в связи с отсутствием у них навыка чтения. При этом выявление изменений в становлении процесса восприятия речи у детей дошкольного возраста является актуальным в связи с ростом числа детей с речевыми нарушениями (Степаненко и др., 2010) и необходимостью раннего выявления таких нарушений.

В группах детей с нарушениями речи чаще всего анализируются параметры ЭЭГ в состояниях спокойного бодрствования: выявлено снижение мощности альфа-активности, увеличение мощности тета-активности, замедление основных ритмов ЭЭГ (Лукашевич и др., 2011; Чутко и др., 2015; Lyakso et al., 2020; Каладзе и др., 2023; Stanojevic et al., 2023), однако данные изменения часто неспецифичны для различного рода речевых нарушений и могут быть связаны с незрелостью мозговых структур. Имеются данные о связи алалии с частотой выявления эпилептиформных и локальных патологических изменений ЭЭГ (с преобладанием в височных областях) (Бобылова и др., 2017), однако в значительном числе случаев паталогическая активность в ЭЭГ детей с алалией не регистрируется (Лукашевич и др., 2011). В известных нам исследованиях не выделялись в отдельные группы дети с сенсорной алалией (нарушением рецептивной речи) и моторной алалией (нарушением экспрессивной речи), паттерны ЭЭГ которых могут различаться.

Работы, направленные на изучение реактивности электрической активности мозга во время восприятия речи у детей с различного рода речевыми нарушениями, относительно немногочисленны. Так, у детей 8-15 лет, имеющих сложности с восприятием и запоминанием слов, выявлены более выраженные по сравнению с ЭЭГ-реакциями здоровых сверстников десинхронизация альфа-ритма и снижение синхронизации тета- и бета-ритмов, что явилось основанием для предположения об использовании ими некой измененной стратегии обработки речевой информации (Schneider et al., 2021). Выявлена сниженная реактивность тета-ритма во время чтения слов и псевдослов у детей с дислексией (Klimesch et al., 2001), отражающая специфические нарушения кодирования данных стимулов в памяти. При этом исследования реактивности ЭЭГ у детей с нарушением рецептивной речи во время слухового восприятия речи не найдены.

Гипотеза исследования: у типично развивающихся детей дошкольного и младшего школьного возраста, а также у детей с нарушениями речи при слуховом восприятии слов и предложений формируются специфические

паттерны ЭЭГ-реакций, отражающие различные стратегии обработки речевых сообщений.

Объектом исследования является процесс слухового восприятия речи у детей.

Предметом исследования являются паттерны ЭЭГ детей во время восприятия речи.

Цель исследования: выявить особенности ЭЭГ при слуховом восприятии речи у типично развивающихся детей дошкольного и младшего школьного возрастов, а также их сверстников с нарушением рецептивной речи и задержкой психоречевого развития.

Для достижения поставленной цели были определены следующие **задачи:**

1) исследовать частотно-временные характеристики ЭЭГ у типично развивающихся детей 4-10 лет при слуховом восприятии отдельных слов и псевдослов, слов и псевдослов в составе предложений;

2) проанализировать возрастные особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей 4-6 и 7-10 лет при слуховом восприятии речи;

3) выявить различия в реактивности ритмов ЭЭГ при слуховом восприятии речи у типично развивающихся детей 4-7 лет, их сверстников с нарушением рецептивной речи, участников исследования с задержкой психоречевого развития.

Научная новизна полученных результатов. Впервые получены данные о паттернах ЭЭГ-реакций во время восприятия слов и псевдослов у типично развивающихся детей дошкольного возраста. Выявлены различия в реакциях ЭЭГ во время восприятия речи у детей дошкольного и младшего школьного возрастов. Впервые получены данные об особенностях реактивности ЭЭГ у детей с нарушением рецептивной речи во время слухового восприятия отдельных существительных, глаголов в правильных и неправильных по смыслу предложениях, псевдослов в предложениях. С использованием полученных данных о характеристиках ЭЭГ типично развивающихся детей и детей с нарушением рецептивной речи предложен оригинальный способ коррекции нарушения рецептивной речи (патент на изобретение № 2805643).

Теоретическая и научно-практическая значимость работы. Результаты исследования имеют теоретическую значимость и могут применяться для расширения представлений о механизмах и ЭЭГ-коррелятах понимания речи у детей дошкольного и младшего школьного возрастов, а также для уточнения механизмов, лежащих в основе нарушения понимания речи. Выявленные специфические паттерны ЭЭГ во время слухового восприятия речи могут служить дополнительным критерием для выявления и дифференциации нарушения рецептивной речи у детей дошкольного возраста. Предложенные и апробированные в ходе исследования экспериментальные ситуации, предполагающие пассивное прослушивание речи, могут быть включены в протокол оценки эффективности коррекционных занятий, направленных на улучшение понимания речи у детей с сенсорной алалией. Результаты

исследования использованы при разработке способа коррекции нарушения рецептивной речи, направленного на оптимизацию состояния детей с нарушениями речи.

Результаты диссертационного исследования внедрены в практическую деятельность коррекционного центра ООО «Нейротренинги» в г. Севастополь (акт внедрения № 1 от 10.11.2023), а также в учебный процесс на кафедре физиологии человека и животных и биофизики института биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» (акт внедрения № 1 от 01.09.2023).

Методология и методы исследования. Методология диссертационного исследования основывалась на концепциях Ю.Д. Кропотова и W. Klimesh, согласно которым изменения в колебательных паттернах ЭЭГ играют определяющую роль в поддержании мозговых функций (Кропотов, 2010) и отражают протекание ряда когнитивных процессов (Klimesh et al., 1999). Использовался метод регистрации 19-канальной ЭЭГ, которая отводилась монополярно в соответствии с международной системой «10-20» в ситуациях спокойного бодрствования с закрытыми и открытыми глазами, во время слухового восприятия слов и псевдослов, а также слов и псевдослов в правильных и неправильных по смыслу предложениях. Артефакты напряжения мышц и движения глаз удалялись с помощью анализа независимых компонент. Для анализа фоновой ЭЭГ использовался спектральный анализ, для анализа восприятия речевых сигналов – частотно-временной анализ с вейвлетом Морле, позволяющий с высоким временным разрешением выявить изменения электрической активности мозга, связанные с процессами восприятия речи. Для анализа различий в показателях фоновой ЭЭГ использовался дисперсионный анализ с повторными измерениями и метод априорных контрастов. Для анализа связанных с прослушиванием речи изменений спектра ЭЭГ использовался дисперсионный анализ с повторными измерениями, апостериорные t-тесты и методы пермутационной статистики.

Положения, выносимые на защиту

1. Паттерны ЭЭГ-реакций при слуховом восприятии речи статистически значимо различаются у типично развивающихся детей разных возрастов, а также у детей с нарушением рецептивной речи.

2. Процесс слухового восприятия слов у типично развивающихся детей дошкольного возраста отражается в десинхронизации альфа-активности и локализованной синхронизации тета-активности, тогда как у детей школьного возраста – в более выраженной правополушарной тета-синхронизации.

3. Для ЭЭГ-реакций типично развивающихся детей при слуховом восприятии слов, не соответствующих смыслу предложения, характерна многократная тета-синхронизация, отражающая интенсификацию процесса извлечения информации из слухоречевой рабочей памяти.

4. Процесс слухового восприятия отдельных слов у детей с нарушением рецептивной речи сопровождается отсутствием синхронизации тета-активности и десинхронизации альфа-активности, что отражает нарушение процесса

извлечения слов из памяти, снижение активации моторных артикуляционных зон и процессов внимания.

5. Процесс слухового восприятия слов в предложениях у детей с нарушением рецептивной речи сопровождается измененным паттерном тета-синхронизации, что связано с нарушениями извлечения слов из рабочей памяти и нарушением синтаксической и семантической интеграции слов в предложение.

Апробация результатов исследования. Материалы представлены на конференциях: XIV Международная Крымская конференция «Космос и Биосфера», 25-28 мая 2021 г.; XVII Международный конгресс «Нейронауки для медицины и психологии», Судак, 30 мая-10 июня 2021 г.; научно-практическая конференция «Modern medicine: a new approach and relevant research», Казахстан, 20 октября 2021 г.; IV Международный форум по когнитивным нейронаукам «Cognitive neuroscience», Екатеринбург, 2-3 декабря 2021 г.; XVIII Международный конгресс «Нейронауки для медицины психологии», Судак, 30 мая-10 июня 2022 г.; Междисциплинарная научно-практическая конференция с международным участием «Речь, грамотность, дислексия», Сириус, 17-19 октября 2022 г.; X Всероссийская научно-практическая конференция «Центральные механизмы речи» имени проф. Н. Н. Трауготт с международным участием, Санкт-Петербург, 24-26 Октября 2022 г.; XXIV съезд физиологического общества им. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, 11–15 сентября 2023 года.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 12 печатных работ, из них 3 статьи в журналах, включенных в перечень ВАК, 1 статья в журнале, индексируемом в Scopus, 1 статья в отечественном издании, переводная версия которого входит в Web of Science, 1 патент на изобретение, 6 публикаций в материалах международных и всероссийских конференций.

Личный вклад автора. Автор работы принимал непосредственное участие в планировании и организации исследования, самостоятельно проводил экспериментальные исследования, статистическую обработку и анализ полученных данных, а также совместно с соавторами участвовал в написании научных статей и апробации результатов исследования на конференциях.

Структура работы. Диссертационная работа изложена на 152 страницах машинописного текста и состоит из следующих частей: введение, обзор литературы, методика исследования, результаты исследования, обсуждение результатов, заключение, выводы, список сокращений, список литературы (201 источник, 170 из которых на английском языке). Материал проиллюстрирован 42 рисунками и 21 таблицей.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** представлен обзор отечественных и зарубежных работ, в котором отражены сведения об известных закономерностях функционирования мозговых механизмов восприятия речи, электрофизиологических методах

изучения восприятия речи, особенностях реактивности ритмов ЭЭГ во время восприятия речи у типично развивающихся детей и детей с нарушениями речи.

Во **второй главе** описана методика исследования. В исследовании приняли участие 157 детей в возрасте от 4 до 10 лет, в том числе 93 типично развивающихся ребенка, 25 детей с установленным диагнозом нарушение рецептивной речи (F80.2 по МКБ-10) в возрасте от 4 до 7 лет, 39 детей с задержкой психоречевого развития (ЗПРР) в возрасте от 4 до 7 лет. В группу детей с ЗПРР входили дети, имеющие сниженные показатели вербального интеллекта и заключения о задержке психоречевого развития в результате прохождения психолого-медико-педагогической комиссии. Типично развивающиеся дети были разделены на две возрастные подгруппы, включающие детей дошкольного возраста (54 ребенка) и младшего школьного возраста (39 детей) в соответствии с возрастной периодизацией Д. Б. Эльконина (Эльконин, 1971). Все дети были правшами по результатам прохождения эдинбургского опросника, имели нормальные или приближающиеся к нормальным показатели зрения и слуха. В указанные группы не были включены дети с массой тела при рождении менее 2,5 кг, с наличием генетических заболеваний, а также те дети, в ЭЭГ которых во время клинических обследований были выявлены эпизоды эпилептиформной активности. Все типично развивающиеся дети набрали более 80 баллов по тесту Векслера, имели нормальный уровень развития вербального интеллекта (медиана 109, интерквартильный размах [105; 114]) и невербального интеллекта (медиана 106, интерквартильный размах [102; 110]). В группе детей с нарушением рецептивной речи зарегистрировано снижение уровня вербального интеллекта (медиана 54,5; интерквартильный размах [51; 58]), показатели невербального интеллекта составили 85 баллов, интерквартильный размах [71; 102]. В группе детей с ЗПРР показатели вербального интеллекта составили 79 баллов, интерквартильный размах [71; 86], невербального – 100 баллов, интерквартильный размах [93; 108].

От родителей всех испытуемых было получено информированное согласие на участие в исследованиях. Исследование соответствовало этическим принципам Хельсинкской декларации и было одобрено этическим комитетом Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского (протокол заседания комитета № 10 от 4 ноября 2019 г).

Регистрация электроэнцефалограммы. Запись ЭЭГ осуществлялась по общепринятой методике с использованием 19-канального электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр – 3» в экспериментальных ситуациях: спокойное бодрствование с закрытыми и открытыми глазами; устойчивое зрительное внимание; пассивное слуховое восприятие отдельных существительных, глаголов, псевдослов; пассивное восприятие аудиовидеозаписи чтения стихотворения, содержащего глаголы в правильных по смыслу предложениях, неправильных по смыслу предложениях, псевдослова в предложениях. Псевдослова генерировались посредством соединения двух слогов, из которых состояли существительные. Из полученных случайным

образом псевдослов отбирались те псевдослова, звучание которых не вызывало ассоциаций с существующими словами.

Для удаления артефактов использовался метод независимых компонент. Для определения индивидуального частотного диапазона альфа-ритма на спектре ЭЭГ в затылочных отведениях в ситуации спокойного бодрствования с закрытыми глазами выявляли частоту пика мощности ритма в диапазоне 5-12 Гц, который исчезал во время ситуации устойчивого зрительного внимания. За границы анализируемого диапазона принимали значения частот, уменьшенные и увеличенные на 2,5 Гц по отношению к частоте пика мощности. Нижняя граница тета-ритма рассчитывалась как частота пика мощности альфа-ритма, уменьшенная на 6 Гц. В качестве бета-активности рассматривали активность в частотном диапазоне 13–30 Гц. При анализе ЭЭГ в ситуациях спокойного бодрствования с закрытыми и открытыми глазами, устойчивого зрительного внимания фрагменты ЭЭГ подвергались быстрому преобразованию Фурье с эпохой анализа 2,5 секунды. Применялась оконная функция Блэкмана, в индивидуально определенной частотной полосе рассчитывали средние амплитуды альфа-, тета- и бета-ритмов, после чего подвергали логарифмированию по основанию 10 для нормализации распределения ($\lg \text{мкВ}$).

Для обработки моментов прослушивания отдельных слов и псевдослов использовался частотно-временной анализ с вейвлетом Морле, непрерывную запись ЭЭГ разбивали на эпохи длительностью 4000 мс, соответствующие моментам предъявления стимулов. Предстимульный (фоновый) интервал имел длительность 1000 мс, постстимульным интервалом являлся отрезок времени длительностью 3000 мс от момента начала предъявления слова. Частотное разрешение составило 0,6 Гц. Временное разрешение составило 14,7 мс и рассчитывалось как отношение длительности анализируемого интервала (3000 мс с учетом исключения краевых эффектов) и количества отсчетов (200 отсчетов). Для анализа слов и псевдослов в предложениях запись разбивали на эпохи длительностью 2800 мс. Предстимульный (фоновый) интервал имел длительность 800 мс и соответствовал паузе перед глаголом или псевдословом. Постстимульным интервалом являлся отрезок времени длительностью 2000 мс от момента начала предъявления слов. Частотное разрешение составило 0,6 Гц, временное – 9 мс.

Показатели связанных с событиями спектральных пертурбаций (СССП) рассчитывались как логарифм отношения мощностей ритмических диапазонов постстимульной и предстимульной ЭЭГ. Отрицательные значения СССП соответствуют десинхронизации ЭЭГ (отмечены на графиках синим цветом), положительные значения – синхронизации ЭЭГ (отмечены красным цветом).

Статистическая обработка полученных данных. Различия в амплитуде ритмов ЭЭГ в ситуациях спокойного бодрствования с закрытыми и открытыми глазами, устойчивого зрительного внимания анализировались с помощью дисперсионного анализа с повторными измерениями с факторами ЛОКУС (уровни: 19 отведений), ГРУППА (2 уровня: норма и нарушение рецептивной речи; норма и задержка психоречевого развития) и взаимодействия этих

факторов ($p < 0,05$). Для оценки эффектов изменений амплитуды альфа-ритма в каждом из девятнадцати локусов ЭЭГ использовался метод априорных контрастов. Статистическая обработка ЭЭГ во время восприятия слов и псевдослов проводилась с использованием пакета прикладных программ MATLAB и набора инструментов EEGLAB. Для оценки значимости связанных с прослушиванием слов реакций ЭЭГ в общей выборки детей разного возраста и внутри каждой из групп использовался многофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями с факторами СИТУАЦИЯ (до и после предъявления слов), ЛОКУС (19 отведений ЭЭГ), ЧАСТОТА (52 значений от 0 до 30 Гц). Анализ выполнялся для каждого из 170 временных отсчетов постстимульной ЭЭГ и усредненного значения данных 30 отсчетов предстимульной ЭЭГ. Для дальнейшего анализа использовали только те временные интервалы, в которых общий эффект взаимодействия всех трех факторов достигал уровня статистической значимости ($p < 0,05$ с учетом поправки Хьюнха-Фельдта). Для попарных сравнений использовали апостериорные t-тесты ($p < 0,01$). Для оценки различий СССП в группах детей дошкольного и младшего школьного возраста, типично развивающихся детей и детей с ЗППР, нарушением рецептивной речи использовалась пермутационная статистика ($p < 0,01$).

В третьей главе приводятся результаты исследования. В ситуации слухового восприятия существительных дисперсионный анализ с повторными измерениями в группе типично развивающихся детей 4-10 лет выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 0-103, 308-1102 мс. Зарегистрировано увеличение мощности колебаний в диапазоне тета-активности ЭЭГ во временном интервале 200-800 мс после начала стимула в лобных, центральных и теменных отведениях, наиболее выраженное в локусах F7, F8, Fp1. При сравнении СССП во время восприятия существительных выявлены возрастные различия: у детей школьного возраста значимо более выраженная тета-синхронизация в лобных и центральных зонах (рисунок 1, Б). В локусах T3 и T5 у детей школьного возраста регистрируется десинхронизация тета-активности, сменяющая предшествующую синхронизацию, тогда как у детей дошкольного возраста продолжается синхронизация тета-активности (рисунок 1, А). У детей дошкольного возраста наблюдалась десинхронизация альфа-активности, тогда как у детей школьного возраста – синхронизация, различия достигают уровня статистической значимости в локусах Fp1, Fp2, Fz, F4, F7, F8, T5, C4, P3, O2. Значимые различия в реактивности бета-активности во время восприятия существительных выявлены в локусах Fp1, Fp2, Fz, F3, F4, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Cz, C3, C4, P3, O1, O2: у детей дошкольного возраста регистрируется десинхронизация бета-активности, у детей школьного возраста – преимущественно синхронизация (рисунок 1).

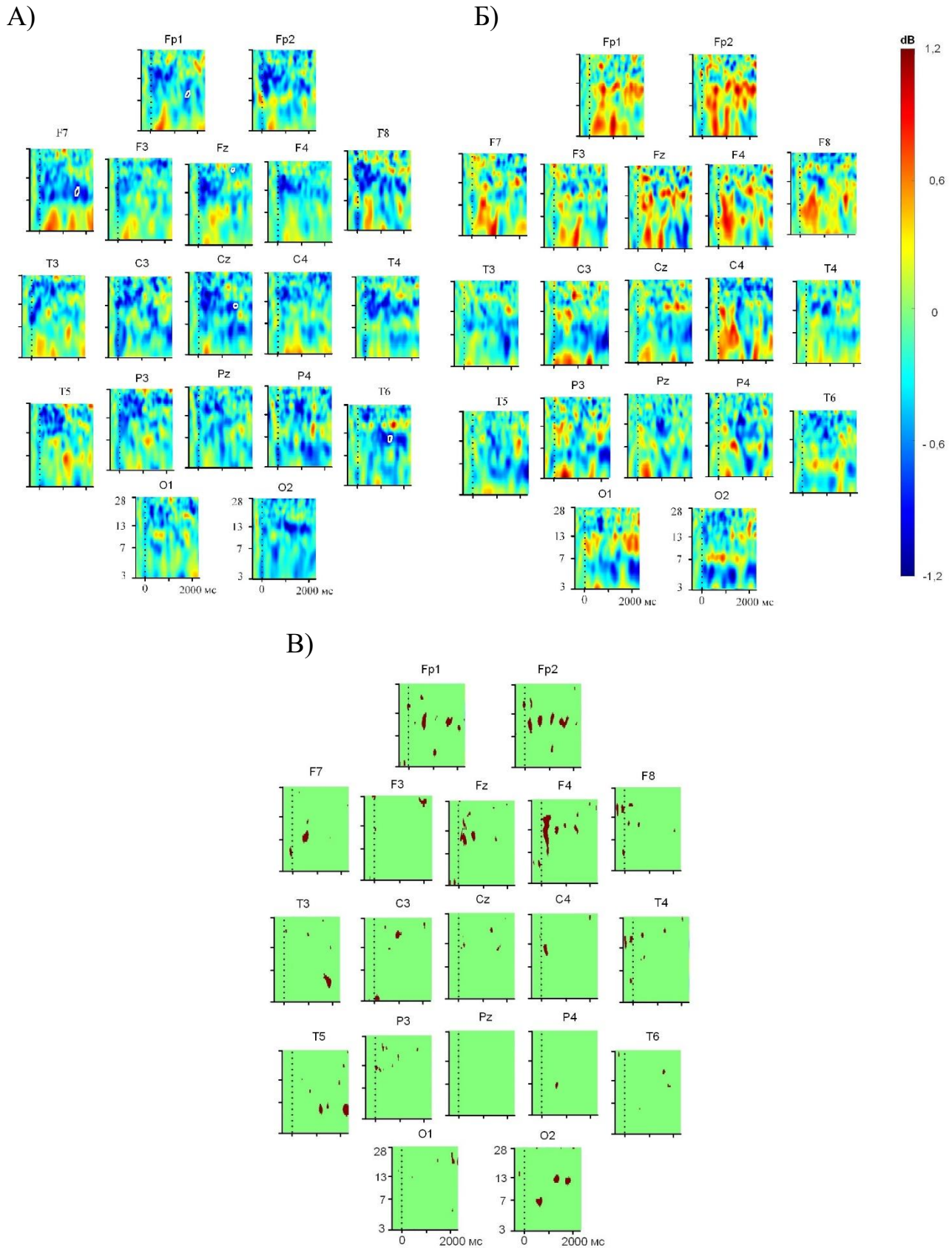


Рисунок 1 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации во время прослушивания существительных в группе типично развивающихся детей 4-6 лет (А), 7-10 лет (Б), межгрупповые различия, $p < 0,01$ (В)

В ситуации слухового восприятия глаголов дисперсионный анализ с повторными измерениями в группе типично развивающихся детей 4-10 лет выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 307-400 мс, 1102-1499 мс. Зарегистрировано увеличение мощности колебаний в диапазоне тета-активности ЭЭГ во временном интервале 300-500 мс после начала стимула в лобных, центральных и височных отведениях и ее последующее снижение; десинхронизация альфа-ритма в теменно-затылочных отведениях и синхронизация бета-активности в лобных и височных отведениях. У детей дошкольного возраста выявлена более выраженная тета- и альфа-синхронизация в лобных и центральных зонах, менее выраженная бета-синхронизация бета-активности в лобных зонах.

В группе типично развивающихся детей 4-10 лет в ситуации слухового восприятия псевдослов дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 352-588 мс, 764-940 мс, 1102-1190 мс, 1234-1425 мс, 1514-2500 мс. Регистрировалась многократная тета- и бета-синхронизация в большинстве отведений, а также десинхронизация альфа-активности в лобных, центральных и затылочных зонах. У детей школьного возраста выявлена значимо более выраженная по сравнению с дошкольниками тета- и альфа-синхронизация в лобных и центральных зонах; более выраженная десинхронизация альфа-активности в височных и затылочных отведениях.

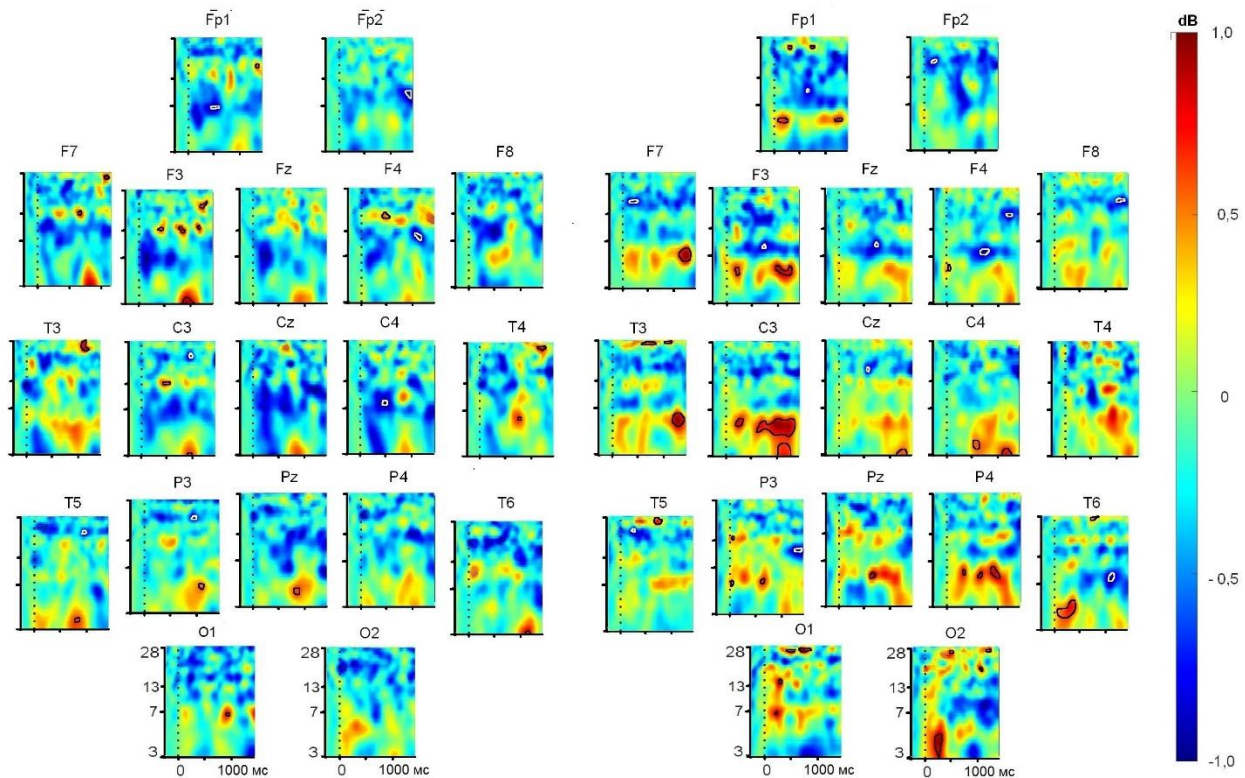
В группе типично развивающихся детей 4-10 лет при слуховом восприятии глаголов в правильных по смыслу предложениях регистрировалась синхронизация тета-активности в лобных, центральных, теменных и височных отведениях, десинхронизация альфа-активности в лобных и центральных зонах, синхронизация бета-активности в лобных и височных зонах. Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 459-599, 927-1359 мс. У детей школьного возраста выявлена значимо более выраженная по сравнению с дошкольниками тета-синхронизация в лобных зонах правого полушария; более выраженная десинхронизация альфа-активности в височных и затылочных отведениях.

В группе типично развивающихся детей 4-10 лет при слуховом восприятии глаголов в неправильных по смыслу предложениях регистрировалась многократная синхронизация тета-активности во всех отведениях, наиболее выраженная в локусе С3, а также альфа- и бета-десинхронизация в большинстве отведений. Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 8-352 мс, 554-1438 мс. У детей дошкольного возраста наиболее выраженная тета-синхронизация регистрировалась в теменно-затылочных зонах (рисунок 2, А), у детей школьного возраста – в лобно-центральных (рисунок 2, Б). У детей дошкольного возраста регистрируется

десинхронизация альфа-активности в лобных зонах, тогда как у детей школьного возраста – синхронизация (рисунок 2, В).

А)

Б)



В)

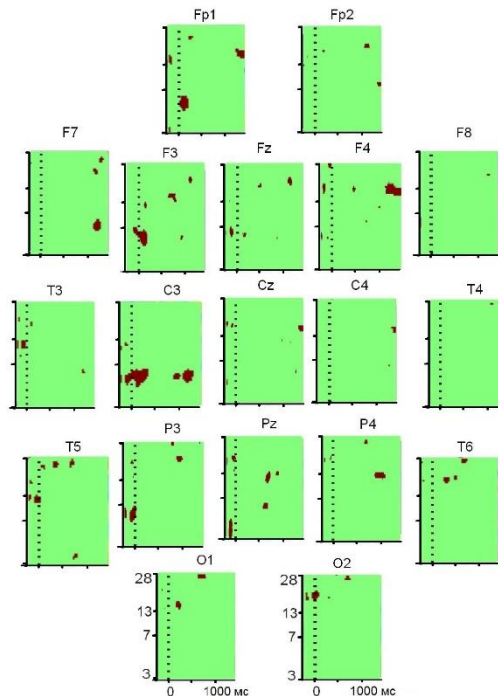


Рисунок 2 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации во время прослушивания глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группе типично развивающихся детей 4-6 лет (А), 7-10 лет (Б), межгрупповые различия, $p < 0,01$ (В)

В группе типично развивающихся детей 4-10 лет при слуховом восприятии псевдослов в предложениях регистрировались разнородные реакции ЭЭГ: тета-синхронизация в локусах Fz, F7, Pz; тета-десинхронизация в локусах F7, O1, O2; альфа-синхронизация в С3, бета-синхронизация в лобных, центральных и височных зонах, бета-десинхронизация в затылочных, теменных, височных и центральных зонах. Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА только для временных промежутков 961-1235 мс. У детей дошкольного возраста значимые различия в СССП зарегистрированы на промежутке 1482-1500 мс, у детей школьного возраста различия не достигали уровня статистической значимости.

Анализ различий амплитуды тета-активности у типично развивающихся детей и детей с нарушением рецептивной речи в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами выявил значимое влияние взаимодействия факторов ГРУППА и ЛОКУС, $F(18, 864) = 1,84$, $p < 0,05$. Различия достигали уровня статистической значимости в локусах Fp1 ($F(1, 48) = 4,18$, $p < 0,05$), Fp2 ($F(1, 48) = 6,15$, $p < 0,05$). Дети с нарушением рецептивной речи имели значимо большую амплитуду тета-ритма в указанных локусах по сравнению с типично развивающимися детьми. Анализ амплитуды альфа-ритма в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами выявил значимое влияние на различия взаимодействия факторов ГРУППА и ЛОКУС, $F(18, 864) = 1,85$, $p < 0,05$. Различия достигали уровня статистической значимости в локусах Pz ($F(1, 48) = 8,35$, $p < 0,05$), P3 ($F(1, 48) = 8,57$, $p < 0,05$), O2 ($F(1, 48) = 5,11$, $p < 0,05$). Дети с нарушением рецептивной речи имели значимо меньшую амплитуду альфа-ритма в указанных локусах по сравнению с типично развивающимися детьми (рисунок 3, А).

Анализ амплитуды тета-ритма у типично развивающихся детей и детей с нарушением рецептивной речи в ситуации устойчивого зрительного внимания выявил значимое влияние на различия взаимодействия факторов ГРУППА и ЛОКУС, $F(18, 810) = 1,85$, $p < 0,05$. Различия достигали уровня статистической значимости в локусах Fp1 ($F(1, 45) = 7,85$, $p < 0,05$), Fp2 ($F(1, 45) = 4,32$, $p < 0,05$), F7 ($F(1, 45) = 4,16$, $p < 0,05$), T5 ($F(1, 45) = 6,00$, $p < 0,05$). Дети с нарушением рецептивной речи имели значимо более высокую амплитуду тета-ритма в указанных локусах по сравнению с типично развивающимися детьми (рисунок 3, Б). Анализ амплитуды альфа-ритма у типично развивающихся детей и детей с нарушением рецептивной речи в ситуации устойчивого зрительного внимания выявил значимое влияния взаимодействия факторов ГРУППА и ЛОКУС, $F(18, 810) = 1,93$, $p < 0,05$. Различия достигали уровня статистической значимости в локусе Pz ($F(1, 45) = 5,19$, $p < 0,05$), в группе детей с нарушением рецептивной речи средняя амплитуда альфа-ритма ниже, чем в группе сравнения.

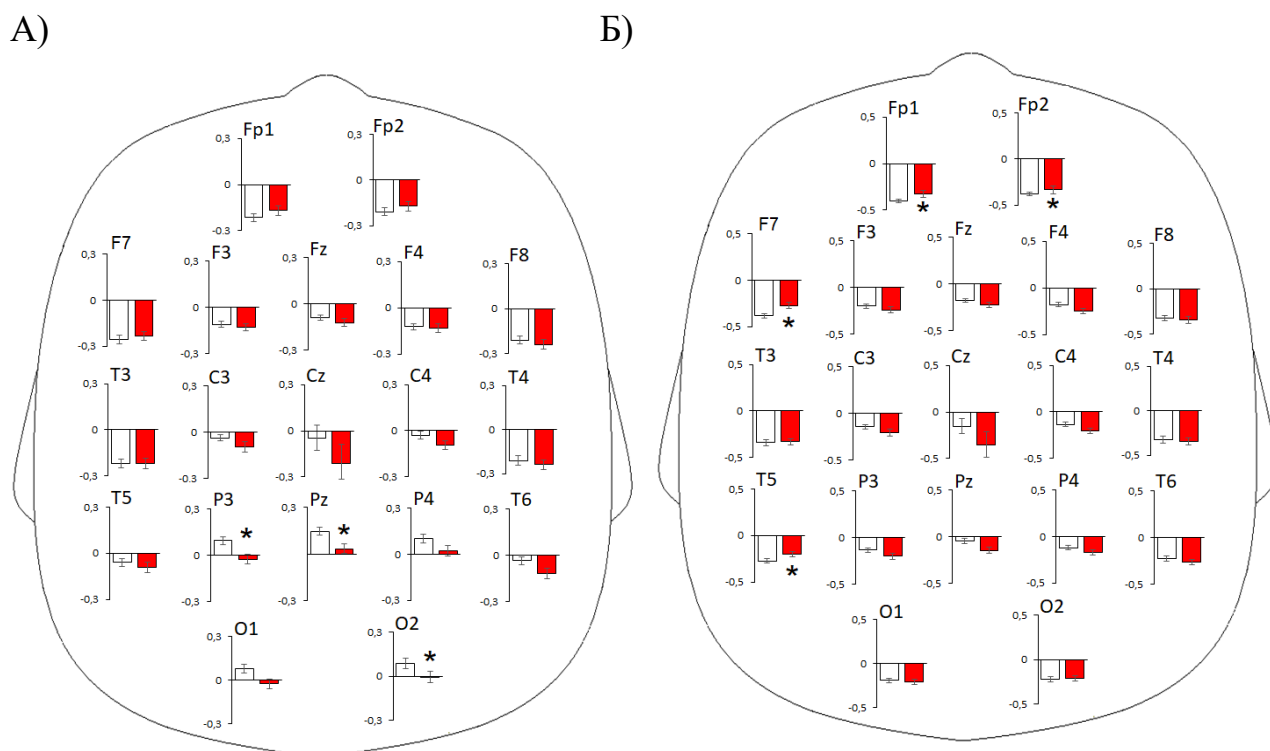


Рисунок 3 – Значения логарифмированной амплитуды альфа-ритма ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами (А), логарифмированной амплитуды тета-ритма во время устойчивого зрительного внимания (Б) у типично развивающихся детей (светлые столбцы) и детей с нарушением рецептивной речи (красные столбцы), «*» – $p < 0,05$

Анализ СССП во время восприятия существительных в группе детей с нарушением рецептивной речи выявил уменьшение мощности ЭЭГ в тета-диапазоне в большинстве отведений (рисунок 4, Б), тогда как у типично развивающихся детей наблюдалась тета-синхронизация в лобных, центральных и височных отведениях (рисунок 4, А); межгрупповые различия достигли уровня статистической значимости в большинстве отведений (рисунок 4, В). В группе типично развивающихся детей наблюдалась десинхронизация альфа-активности, тогда как у детей с нарушением рецептивной речи – синхронизация альфа-активности в большинстве отведений ЭЭГ; различия достигли уровня статистической значимости в отведениях F3, F4, F8, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4, T5, T6, O1, O2 (рисунок 4).

Анализ СССП в группе детей с нарушением рецептивной речи во время прослушивания глаголов в правильных по смыслу предложениях выявил не только синхронизацию тета-активности, но и ее десинхронизацию в лобных отведениях. Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 538-900 мс, 1137-1394 мс. Различия в тета-активности при сравнении с группой типично развивающихся детей достигали уровня статистической значимости в отведениях Fp1, Fp2, F7, F8: у детей с нарушением рецептивной тета-синхронизация была менее выраженной. Межгрупповые различия в мощности ЭЭГ альфа-диапазона достигали уровня

статистической значимости в отведениях Fz, F3, F4, C3, C4, Pz, P4, T4, T6: в группе типично развивающихся детей наблюдалась десинхронизация альфа-активности, у детей с нарушением рецептивной речи – синхронизация альфа-активности.

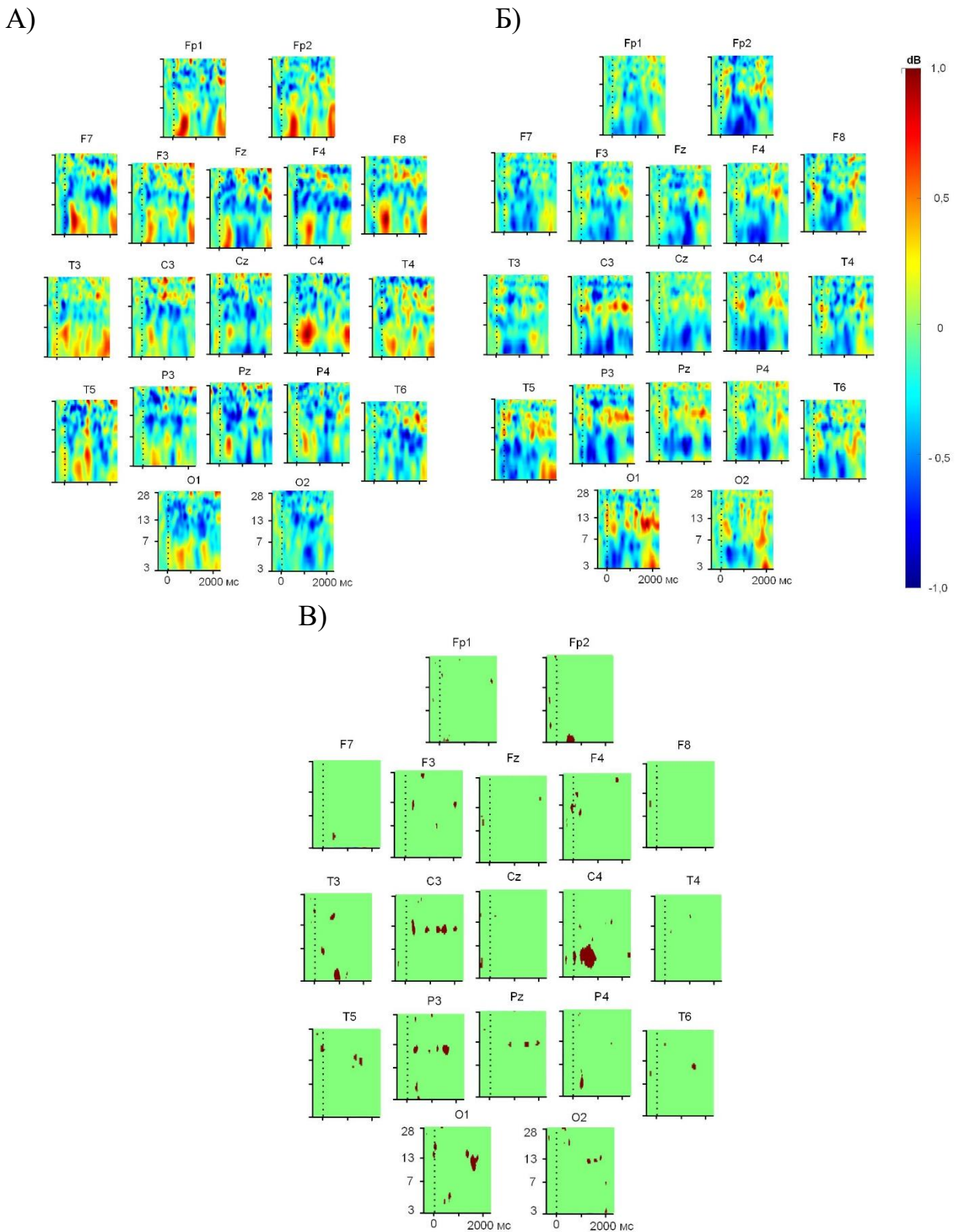


Рисунок 4 – Связанные с прослушиванием существительных спектральные пертурбации у типично развивающихся детей (А), у испытуемых с нарушением рецептивной речи (Б), межгрупповые различия $p < 0,01$ (В)

Во время слухового восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группе детей с нарушением рецептивной речи изменения ЭЭГ не достигали уровня значимости. При сравнении СССП в группах типично развивающихся детей и детей с нарушениями рецептивной речи были выявлены различия в реактивности в тета-диапазоне ЭЭГ в отведениях Fp2, C4, Pz, P4, T6, O1, O2. У типично развивающихся детей наблюдалась синхронизация тета-активности, у детей с нарушением рецептивной речи – десинхронизация. У детей с нарушением рецептивной речи зарегистрирована более выраженная по сравнению с группой типично развивающихся детей бета-синхронизация в отведениях Fp1, Fp2, F3, F7, F8, Cz, C3, C4, P3, более выраженная десинхронизация бета-активности – в отведениях F4, Pz, P4, T3, T4, T6.

Анализ СССП в группе детей с нарушением рецептивной речи во время прослушивания псевдослов в предложении выявил выраженную синхронизацию тета-активности в лобных, центральных, теменных и височных отведениях. Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 291-340 мс, 538-732 мс. Во время слухового восприятия псевдослов в предложениях в группе детей с нарушением рецептивной речи регистрировалась значимо более выраженная по сравнению с группой типично развивающихся детей синхронизация тета-активности в локусах Fp2, Fz, F4, F7, F8, Cz; менее выраженная – в локусах P4, T3.

При сравнении ЭЭГ во время спокойного бодрствования с закрытыми глазами и устойчивого зрительного внимания в группах детей с ЗППР и типично развивающихся детей значимых различий выявлено не было. Во время слухового восприятия существительных у детей с ЗППР зарегистрирована тета- и бета-синхронизация в лобных, центральных, теменных и височных зонах. Тета- и бета-синхронизация у детей с ЗППР более выражена по сравнению с контрольной группой, однако значимые различия регистрируются на коротких временных промежутках. Во время слухового восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях у детей с ЗППР выявлена значимая тета-синхронизация в локусах F3, F4, Cz, C3, C4, P4; альфа-синхронизация в локусах P4, O2; синхронизация бета-активности в локусе O1. Выявлены межгрупповые различия в альфа-реактивности в лобных и центральных зонах: у типично развивающихся детей регистрируется синхронизация альфа-активности, у детей с ЗППР – десинхронизация. Во время слухового восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группе детей с ЗППР регистрируется значимая десинхронизация тета-активности в локусе T4, десинхронизация альфа-активности в локусах Fp1, Fp2, F3, F4, O1, O2, T3, T5, T6; десинхронизация бета-активности в локусах F3, F7, T4, Pz. В результате межгруппового сравнения выявлена менее выраженная тета-синхронизация в группе детей с ЗППР в лобных, центральных, теменных и височных зонах; более выраженная альфа-десинхронизация в височных зонах. В группе детей с ЗППР при слуховом восприятии псевдослов в предложениях регистрировалась синхронизация тета- и альфа-активности в лобных и центральных отведениях; выраженная

десинхронизация тета- и бета-активности в теменно-затылочных и височных отведениях. Выявлены межгрупповые различия в тета-реактивности в теменных зонах во время восприятия псевдослов в предложениях: у типично развивающихся детей наблюдается синхронизация, тогда как у детей с ЗПРР – десинхронизация тета-активности.

В четвертой главе приведено обсуждение результатов исследования. Во время прослушивания слов-существительных в группе типично развивающихся детей 4-10 лет наблюдается синхронизация тета-активности в лобных, центральных, теменных и височных отведениях во временном интервале 200-800 мс после начала стимула, связанная с лексико-семантическими операциями поиска и извлечения слов из памяти (Maguire et al., 2022). Результаты настоящего исследования подтвердили данные о более длительной и обширной синхронизации ЭЭГ в тета-диапазоне во время восприятия слов у детей по сравнению со взрослыми и присутствие правосторонней тета-синхронизации (Brauer et al., 2007; Friederici, 2011; Holland et al., 2007; Lam et al., 2016; Maguire et al., 2022), что может быть связано с более сложным процессом обработки речевых сообщений. Десинхронизация альфа-активности в теменно-затылочных и лобно-центральных отведениях в ответ на предъявление слов может отражать как процессы внимания (Wang et al., 2014), так и связанную с восприятием речи активацию моторных зон (Smalle et al., 2015).

При разделении детей 4-10 лет на подгруппы дошкольного (4-6 лет) и младшего школьного возраста (7-10 лет), как и предполагалось, были выявлены различия в паттернах ЭЭГ во время слухового восприятия слов. У детей дошкольного возраста наиболее выраженная тета-синхронизация происходила в лобных и височных отведениях левого полушария, при этом отсутствовала реакция в теменных зонах, выявленная у взрослых и детей более старшего возраста (Maguire et al., 2022). У детей 7-10 лет тета-синхронизация была более выраженной и затрагивала не только зоны левого полушария, но и правосторонние области. Различия могут быть связаны с разным уровнем предстимульной «тонической» тета-активности у детей разного возраста, а также разными стратегиями обработки слов в данных возрастных группах.

Во время слухового восприятия отдельных существительных у детей с нарушением рецептивной речи не наблюдалась синхронизация тета-активности в лобных, центральных и височных отведениях, зарегистрированная во всех возрастных группах типично развивающихся детей и детей с задержкой речевого развития, не испытывающих трудности в понимании речевых сообщений. Учитывая связь тета-синхронизации в интервале 300-600 мс после предъявления слов с лексико-семантическими операциями поиска и извлечения слов из памяти, можно предположить, что именно этот процесс изменен или нарушен у детей с сенсорной алалией. Отсутствие во время прослушивания существительных у детей с сенсорной алалией значимых изменений альфа-активности в лобных и центральных отведениях левого полушария может быть связано с меньшей актуализацией ассоциированного со словами моторного репертуара и снижением активации артикуляционных моторных зон, а снижение

реактивности ЭЭГ альфа-диапазона в теменно-затылочных отведениях – со снижением внимания детей с нарушением понимания речи к прослушиванию слов.

У детей с ЗПРР во время восприятия существительных наблюдалась более выраженная тета-синхронизация и менее выраженная альфа-десинхронизация ЭЭГ, однако в целом регистрировался паттерн ЭЭГ, схожий с таковым в группе типично развивающихся детей.

Вопреки ожиданиям, слуховое восприятие списка глаголов не выявило более выраженную по сравнению с восприятием существительных десинхронизацию сенсомоторного ритма. Предполагается, что активация моторных зон не являются специфической только для восприятия глаголов, а скорее отражает процессы обработки информации о действиях на уровне целого предложения (Prystauka et al., 2019), при этом активация моторных зон скорее связана с интеграцией слов в предложение (Moreno et al., 2015). Одновременная бета-синхронизация над сенсомоторными зонами может быть связана с дополнительным торможением двигательной активности при прослушивании слов, обозначающих действия (Prystauka et al., 2019). Интересной особенностью восприятия глаголов в общей выборке детей была более ранняя и менее длительная тета-синхронизация, чем во время восприятия существительных. Возможным объяснением таких различий может быть более быстрая обработка и понимание глаголов по сравнению с существительными у детей данного возраста. Стоит отметить, что если в группе детей дошкольного возраста процесс восприятия глаголов сопровождался значимой тета-синхронизацией в височных и теменных зонах примерно через 600-900 мс после предъявления слова и был схож с таковым во время слухового восприятия существительных, то у детей школьного возраста значимых изменений в тета-диапазоне выявлено не было. Дети школьного возраста демонстрировали короткую тета-синхронизацию примерно через 250 мс после начала стимула и последующую десинхронизацию ЭЭГ как в тета-, так и в альфа-частотном диапазоне.

Результаты настоящего исследования подтвердили данные о более выраженной тета-синхронизации при прослушивании псевдослов, отражающей более сложный процесс извлечения слов из памяти (Klimesch et al., 2001; Baddeley, 2003; Roux et al., 2014). Предположительно, для распознавания псевдослов дети предпринимают несколько попыток извлечения из памяти слов, похожих на звучащее псевдослово, что отражается в многократной синхронизации тета-активности. Объяснениями менее выраженной по сравнению с восприятием слов альфа-десинхронизации могут быть как меньшая вовлеченность соответствующих областей в процесс обработки псевдослов, так и большая нагрузка на рабочую память во время обработки псевдослов, вызывающая активное торможение активности в областях мозга, не участвующих в обработке стимулов (Klimesch et al., 2007; Wostmann et al., 2017; Gray et al., 2022). В группе детей дошкольного возраста тета-синхронизация более выражена в теменных зонах, в группе школьников – в лобных зонах.

Указанные различия можно связать с неравномерностью процессов созревания мозга (Klimesch et al., 2001).

Во время восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях у типично развивающихся детей зарегистрирована синхронизация тета-активности в лобных, центральных, теменных и височных зонах в интервале 600-1200 мс, отражающая извлечение слов из памяти и их семантическую и синтаксическую интеграцию в предложения (Bastiaansen et al., 2006; Lam et al., 2016). Зарегистрированная во время восприятия слов в предложениях десинхронизация альфа-активности в лобных и центральных зонах может отражать как процессы внимания к звучащим сенсорным стимулам, так и активацию моторных артикуляционных зон, участвующих не только в генерации, но и в процессе восприятия речи (Saltuklaroglu et al., 2018). Показано, что активация моторных зон может быть связана не столько с восприятием отдельных глаголов, сколько с процессами интеграции слов в предложения, обозначающих действия (Moreno et al., 2015). Синхронизация бета-ритма в лобных зонах при прослушивании глаголов в правильном предложении, согласно данным исследований (Lewis et al., 2015), отражает процессы сохранения лингвистической информации в памяти и прогностическое кодирование информации по мере развертывания предложения. Так, показано, что бета-синхронизация происходит на протяжении всего предложения в том случае, если звучащая информация соответствует прогнозам, и прекращается в момент, когда входные данные не совпадают с ожиданиями относительно предстоящих слов (Lewis et al., 2015; Lewis et al., 2016; Momsen et al., 2022).

Во время восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях у детей школьного возраста зарегистрирована более выраженная по сравнению с дошкольниками синхронизация тета-активности в лобных зонах правого полушария. Такие же закономерности выявлены и при восприятии отдельных слов, что подтверждает предположение о нелинейном изменении связанной с восприятием слов правосторонней тета-синхронизации по мере взросления. При этом более выраженная тета-синхронизация у детей дошкольного возраста в височных зонах может отражать более сложный процесс извлечения слов из памяти в этой возрастной группе (Lam et al., 2016).

Во время слухового восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях у детей с нарушением рецептивной речи наблюдалась не только синхронизация тета-активности, но и ее десинхронизация в лобных зонах. Межгрупповые различия в реактивности ЭЭГ в тета-диапазоне достигали уровня статистической значимости в лобных зонах: в группе типично развивающихся детей наблюдалась тета-синхронизация, у детей с нарушением рецептивной речи – десинхронизация тета-активности. Можно предположить, что отсутствие у детей с нарушением рецептивной речи тета-синхронизации в лобных зонах связано с изменением или нарушением синтаксической и семантической интеграции слов в предложение (Lam et al., 2016; Mollica et al., 2020; Uddén et al., 2022) и соответствующим нарушением понимания смысла предложения. Снижение у детей с сенсорной алалией десинхронизации альфа- и бета-

активности над сенсомоторными зонами, предположительно, отражает изменение активации моторных структур, относящейся к обработке речи как на уровне отдельных слов, так и на уровне предложений. Стоит отметить, что, в отличие от процесса слухового восприятия отдельных слов, восприятие слов вместе с просмотром видеоролика вызвало более выраженные и приближенные к норме реакции ЭЭГ у детей с нарушением рецептивной речи, тогда как прослушивание не подкрепленных видеорядом слов продемонстрировало наиболее выраженные различия в реакциях ЭЭГ.

Во время прослушивания глаголов в правильных по смыслу предложениях в группе детей с ЗПРР наблюдалась более выраженная тета-синхронизация в лобных, центральных и теменных зонах, отражающая, вероятно, относительно успешный, но более сложный процесс извлечения слов из памяти.

Во время прослушивания глаголов в неправильных по смыслу предложениях во всех группах типично развивающихся детей наблюдалась многократная синхронизация тета-активности, наиболее выраженная в центральных и теменных зонах. Такая активность в указанных зонах при прослушивании неправильных по смыслу глаголов может быть связана с активацией слухоречевой рабочей памяти (Станкова и др., 2020). В группе дошкольного возраста выраженность тета-синхронизации была максимальной в теменных зонах правого полушария, у детей школьного возраста – в центральных зонах левого полушария. Различия в локализации зон с максимально выраженной реактивностью в тета-диапазоне могут быть связаны с неравномерностью созревания зон мозга (Klimesch et al., 2001) и различием в процессах активацией слухоречевой рабочей памяти. Отсутствие синхронизации бета-активности в лобных зонах в группе типично развивающихся детей во время восприятия слов в неправильных по смыслу предложениях согласуется с полученными в группе взрослых и детей 10-12 лет результатами (Schneider et al., 2018) и, по-видимому, свидетельствует о несоответствии звучащего слова ожидаемому (Momsen et al., 2022).

Во время слухового восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях у детей с нарушением рецептивной речи регистрировалась менее выраженная синхронизация тета-активности практически во всех отведениях, а сами изменения внутри группы не достигали уровня статистической значимости. Можно предположить, что отсутствие выраженной многократной синхронизации тета-активности отражает нарушение или невозможность извлечения слов из рабочей памяти и лежит в основе нарушения понимания смысла предложения с ошибками.

Во время прослушивания глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группе детей ЗПРР зарегистрирована менее выраженная тета-синхронизация в лобных, центральных, теменных и височных зонах, что может отражать изменение процессов извлечения слов из слухоречевой рабочей памяти. При этом различий в тета-синхронизации в лобных зонах левого полушария (как при сравнении группы типично развивающихся детей и детей с

сенсорной алалией) выявлено не было. Предположительно, учитывая успешность выполнения этого задания, дети с ЗПРР использовали другие стратегии распознавания ошибок в предложении, например, сравнение с шаблоном.

При слуховом восприятии псевдослов в предложениях в группе типично развивающихся детей наблюдалась относительно невыраженная синхронизация тета-активности в лобных и височных зонах. Можно предположить, что в контексте предложения такие дети быстро определяли неуместность псевдослов и не продолжали активно обрабатывать аудиальную информацию. Дети с нарушением рецептивной речи, наоборот, демонстрировали выраженную тета-синхронизацию в лобных и центральных зонах правого полушария. Можно предположить, что дети с нарушением понимания речи, распознав необычное звучание псевдослов, предпринимали более активные попытки извлечения слов из памяти, недостаточно понимая неуместность псевдослов в контексте предложений. При этом, имея сложности в удержании и извлечении слов из рабочей памяти, дети этой группы, вероятно, задействовали для понимания смысла предложения правополушарные механизмы обработки просодической информации. Во время прослушивания псевдослов в предложениях в группе детей ЗПРР зарегистрирована менее выраженная тета-синхронизация в теменных зонах, что может отражать изменение процессов извлечения слов из слухоречевой рабочей памяти. При этом различия достигали уровня статистической значимости в частотном диапазоне 6-8 Гц, активность в котором у детей с задержками развития может рассматриваться как альфа-активность, а у типично развивающихся детей – как тета-активность, в связи с чем интерпретация данных различий усложняется.

Анализ фоновой ЭЭГ выявил у детей с нарушением рецептивной речи снижение средней амплитуды альфа-ритма в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами, что может отражать нарушение формирования процессов торможения и задержку развития в целом. Повышение амплитуды тета-ритма у детей с нарушением рецептивной речи в лобных и височных отведениях левого полушария в ситуации устойчивого зрительного внимания может отражать как задержку электрогенеза, так и нарушения внимания у детей с нарушением рецептивной речи. Различия, выявленные в группе детей с сенсорной алалией во время восприятия речи, можно связать с общим снижением концентрации внимания детей на выполнении вербальных заданий, изменением процессов активации моторных артикуляционных зон, лексико-семантического поиска и извлечения слов из памяти и интеграции слов в целостное предложение. Наиболее значительные межгрупповые различия выявлены во время слухового восприятия отдельных слов.

В группе детей с ЗПРР показатели фоновой ЭЭГ значимо не отличались от таковых в группе типично развивающихся детей. Менее выраженные различия в ситуациях слухового восприятия слов подтверждают, что процесс понимания речевых сообщений у детей с ЗПРР протекает успешно, хоть и с небольшими изменениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное экспериментальное исследование позволило получить новые данные о реактивности ритмов ЭЭГ во время восприятия речи в группах типично развивающихся детей дошкольного и младшего школьного возрастов и их сверстников с нарушением рецептивной речи, задержкой психоречевого развития. У типично развивающихся детей разного возраста и детей с нарушениями речи при слуховом восприятии слов и предложений формируются специфические паттерны ЭЭГ, отражающие различные стратегии обработки речевых сообщений. Полученные результаты указывают на перспективность исследований реактивности ритмов ЭЭГ во время слухового восприятия речи у детей с нарушением рецептивной речи и иными речевыми нарушениями, могут использоваться при разработке новых методов оценки и коррекции нарушений процесса понимания речи у детей с применением современных психофизиологических технологий. Результаты исследования использованы при разработке способа коррекции нарушения рецептивной речи, направленного на оптимизацию состояния детей. Указанный способ основан на применении метода биологической обратной связи по ЭЭГ и направлен на увеличение мощности альфа-ритма в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами, снижение мощности тета-ритма в локусе F7 при выполнении заданий, требующих концентрации внимания на неречевых стимулах, снижение мощности альфа- и тета-ритмов в локусах F3 и T3 во время выполнения заданий, требующих понимания речи (Патент № 2805643, «Способ коррекции нарушения рецептивной речи»).

ВЫВОДЫ

1. У типично развивающихся детей дошкольного и младшего школьного возрастов и их сверстников с нарушением рецептивной речи и задержкой психоречевого развития выявлены специфические паттерны ЭЭГ-реакций, отражающие различия в процессах слухового восприятия отдельных слов, псевдослов и слов в предложениях.

2. У типично развивающихся детей 4-10 лет слуховое восприятие существительных сопровождается синхронизацией тета-активности в лобных, центральных и теменных отведениях, десинхронизацией альфа- и бета-активности; при прослушивании глаголов наблюдается дополнительная синхронизация бета-активности; во время прослушивания псевдослов зарегистрированы многократные эпизоды синхронизации тета-активности, отражающие повторную активацию процессов извлечения слов из памяти. Прослушивание слов, соответствующих смыслу предложения, вызывает синхронизацию тета-ритма, отражающую извлечение слов из памяти, а также синхронизацию бета-активности в лобных отведениях, отражающую интеграцию слов в предложение. Прослушивание слов, не соответствующих смыслу предложения, сопровождается многократной синхронизацией тета-ритма, связанной с активацией рабочей памяти. Слуховое восприятие

псевдослов в предложении сопровождается незначительными изменениями ЭЭГ, отражающими меньшую интенсивность процессов их обработки.

3. Процесс восприятия слов у типично развивающихся детей дошкольного возраста отражается в десинхронизации альфа-активности, связанной с активацией процессов внимания и моторных артикуляционных зон для облегчения понимания речи. Дети школьного возраста в большей степени опираются на механизмы извлечения слов из памяти, отражающиеся в двусторонней тета- и альфа-синхронизации ЭЭГ. Во время восприятия псевдослов и слов в неправильных по смыслу предложениях у детей дошкольного возраста более выражена синхронизация тета-ритма в теменно-затылочных отведениях, у детей школьного возраста – в лобно-центральных отведениях, что может объясняться неравномерностью созревания данных зон и различными стратегиями обработки речи у детей разных возрастов.

4. В группе детей с нарушением рецептивной речи процесс слухового восприятия существительных сопровождается десинхронизацией тета-ритма, связанной с нарушением процесса извлечения слов из памяти, и синхронизацией альфа-ритма, отражающей снижение концентрации внимания детей на выполнении заданий и активации моторных артикуляционных зон. При слуховом восприятии глаголов в правильных предложениях наблюдается менее выраженная по сравнению с типично развивающимися детьми синхронизация тета-ритма в лобных отведениях. При слуховом восприятии глаголов в неправильных по смыслу предложениях не зарегистрирована многократная синхронизация тета-ритма в лобных, теменных и височных отведениях, что может отражать нарушение процесса извлечения информации из слуховой рабочей памяти. При прослушивании псевдослов в предложениях наблюдается более выраженная по сравнению с типично развивающимися детьми синхронизация тета-ритма в лобных зонах правого полушария, отражающая более активную обработку просодической информации.

5. В группе детей с задержкой психоречевого развития процесс слухового восприятия существительных и глаголов в правильных по смыслу предложениях отражается в более выраженной по сравнению с типично развивающимися детьми синхронизации тета-ритма, связанной с необходимостью вовлечения большего количества мозговых структур для успешного извлечения слов из памяти и их интеграции в предложения. При прослушивании глаголов в неправильных по смыслу предложениях и псевдослов в предложениях наблюдается менее выраженная синхронизация тета-ритма в теменных зонах, предположительно отражающая отличия в процессе активации слухоречевой рабочей памяти.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, входящих в перечень ВАК

1. Аликина, М. А. Амплитудно-частотные, топографические, возрастные особенности и функциональное значение сенсомоторного ритма ЭЭГ / М. А.

Аликина, С. А. Махин, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2016. – Т. 2 (68), № 2. – С. 3–24.

2. Начарова М. А. Нейрофизиологические механизмы восприятия речи и их особенности у детей в норме и при нарушениях развития / М. А. Начарова, А. А. Михайлова, Я. Ю. Говорун [и др.] // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6 (72), № 3. – С. 146-162.

3. Начарова, М. А. Особенности ЭЭГ детей с сенсорной алалией / М. А. Начарова, Д. В. Начаров, В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 154–165.

Статьи в отечественных изданиях, переводные версии которых входят в Scopus

1. Nacharova, M. A. Electroencephalography Spectrum Changes Associated with Listening to Words in Typically Developing Children and Children with Sensory Alalia / M. A. Nacharova, D. V. Nacharov, V. B. Pavlenko // Human Physiology. – 2023. – Vol. 49, No. 3. – P. 209–215.

Статьи в отечественных изданиях, переводные версии которых входят в Web of Science

1. Nacharova, M. A. Words Listening Related Electroencephalography Reactivity in Children of Preschool and Primary School Age / M. A. Nacharova, D. V. Nacharov, V. B. Pavlenko // J Evol Biochem Phys. – 2023. – Vol. 59. – P. 1824–1835.

Патенты

1. Патент на изобретение № 2805643 Российская Федерация, МПК А61В 5/369 (2021.01), А61В 5/372 (2021.01), А61М 21/00 (2006.01) Способ коррекции нарушения рецептивной речи [Текст] / М.А. Начарова.: заявитель и патентообладатель Начарова М.А. — № 2022111751; заявл. 29.04.2022; опубл. 23.10.2023, Бюл. №30. — 3 с.

Тезисы докладов на конференциях

1. Начарова М. А. Реактивность альфа-ритма ЭЭГ во время восприятия слов у типично развивающихся детей и детей с нарушением рецептивной речи / М. А. Начарова, В. Б. Павленко // Нейронаука для медицины и психологии : Материалы XVII Международного междисциплинарного конгресса, Судак, 30 мая-10 июня 2021 года – С. 277-278.

2. Nacharova M. A. EEG alpha rhythm reactivity during words perception in typically healthy children and children with receptive speech disorder / M. A. Nacharova, V. B. Pavlenko, D. V. Nacharov, A. D. Petrenko, L.V. Yagenich // Modern medicine: a new approach and relevant research : proceeding of scientific and practical conference, 20 October, 2021, Aktobe, Kazakhstan / Editor-In-Chief Prof. Dr. Edgaras Stankevicius ; Medicina. - Kaunas, 2021. Vol. 57 (Supplement 2). P. 40.

3. Начарова, М. А. Анализ связанных с прослушиванием слов спектральных пертурбаций ЭЭГ у детей с нарушением рецептивной речи / М. А. Начарова, Д. В. Начаров // Cognitive Neuroscience - 2021: материалы

международного форума, Екатеринбург, 02–03 декабря 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2022. – С. 184-187.

4. Начарова М.А. Изменение паттерна ЭЭГ во время восприятия слов у типично развивающихся детей и детей с нарушением речи / М.А. Начарова,

5. В.Б. Павленко // М. А. Начарова, В. Б. Павленко // Нейронаука для медицины и психологии : Материалы XVIII Международного междисциплинарного конгресса, Судак, 30 мая-10 июня 2022 года – С. 245-246.

6. Начарова, М. А. Связанные с прослушиванием слов изменения спектра ЭЭГ у типично развивающихся детей и детей с сенсорной алалией / М. А. Начарова, В. Б. Павленко // Центральные механизмы речи : Сборник материалов X Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции им. проф. Н.Н. Трауготт, Санкт-Петербург, 24–26 октября 2022 года / Под общей редакцией Е.И. Гальпериной. – Санкт-Петербург: ООО "Издательство ВВМ", 2022. – С. 104.

7. Начарова, М. А. Реактивность ЭЭГ при прослушивании слов у детей дошкольного и младшего школьного возраста / М. А. Начарова, В. Б. Павленко // Сборник тезисов XXIV съезда физиологического общества им. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, 11–15 сентября 2023 года. – Санкт-Петербург: ООО "Издательство ВВМ", 2023. – С. 289.