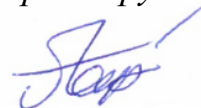


Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

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

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель
доктор биологических наук,
профессор В. Б. Павленко

Симферополь – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Обзор литературы.....	13
1.1. Общие закономерности функционирования мозговых механизмов восприятия речи	13
1.2. Методы изучения нейрофизиологических механизмов восприятия речи	15
1.3. Реактивность ЭЭГ во время восприятия речи и их особенности у типично развивающихся детей.....	20
1.4. Особенности ЭЭГ у детей с нарушениями речи	23
Глава 2. Методика исследования.....	27
2.1. Характеристика выборки.....	27
2.2. Структура исследования.....	28
2.3. Статистическая обработка полученных данных.....	32
Глава 3. Результаты исследования	35
3.1. Частотно-временные характеристики ЭЭГ типично развивающихся детей разного возраста время слухового восприятия существительных.....	35
3.2. Частотно-временные характеристики ЭЭГ типично развивающихся детей разного возраста во время слухового восприятия глаголов	42
3.3. Частотно-временные характеристики ЭЭГ типично развивающихся детей разного возраста во время слухового восприятия псевдослов.....	49
3.4. Частотно-временные характеристики ЭЭГ типично развивающихся детей разного возраста во время слухового восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях.....	55
3.5. Частотно-временные характеристики ЭЭГ типично развивающихся детей разного возраста во время слухового восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях	60
3.6. Частотно-временные характеристики ЭЭГ типично развивающихся детей разного возраста во время слухового восприятия псевдослов в предложениях ..	68

3.7. Параметры ЭЭГ у детей с нарушением рецептивной речи	75
3.8. Параметры ЭЭГ у детей с задержкой психоречевого развития	86
Глава 4. Обсуждение результатов	97
4.1. Особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей во время слухового восприятия существительных	97
4.2. Особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей во время слухового восприятия глаголов	103
4.3. Особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей во время слухового восприятия псевдослов.....	104
4.4. Особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей во время слухового восприятия слов и псевдослов в предложениях	107
4.5. Особенности ЭЭГ у детей с нарушением рецептивной речи	113
4.6. Особенности ЭЭГ у детей с задержкой психоречевого развития.....	118
Заключение	120
Выводы	124
Список сокращений	126
Список литературы	127

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Речь является необходимым компонентом познавательной и коммуникативной деятельности человека [7], а степень развитие речевой сферы – определяющим фактором уровня когнитивного и социального развития ребенка [49; 58]. Ключевым элементом в процессе становления речи считают формирование у детей способности к восприятию и пониманию речевых сигналов [23; 28]. Для оценки функционального состояния головного мозга широкое распространение получил метод регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) [17; 104]. С использованием данного метода проведено значительное количество исследований речевого восприятия у взрослых, однако работы, посвященные анализу ЭЭГ-реакций во время восприятия речи у детей, малочисленны и зачастую противоречивы. Особенно актуальным является изучение 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 (F80.2 по МКБ-10 [19]), или импрессивной (сенсорной) алалии [1; 26]. Предполагают, что у детей с сенсорной алалией при отсутствии нарушений слуха и первично сохранном интеллекте нарушены функции центра Вернике и связи между регионами коры [4; 6]. При этом у значительной части детей с алалией не выявлены очаговые поражения мозга [6]. Несмотря на имеющиеся данные о связи нарушения восприятия речи с частотой выявления эпилептиформных и локальных патологических изменений в фоновой ЭЭГ [4; 18], специфические паттерны ЭЭГ-реакций в ответ на речевые сигналы у детей с нарушением понимания речи до сих пор не выявлены. 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 [164; 166]. Например, дети десяти лет во время чтения слов демонстрируют более выраженное по сравнению со взрослыми увеличение тета-активности в правом полушарии [173], а в 12-летнем возрасте правополушарная синхронизация тета-активности значительно уменьшается [121]. В большинстве работ изучается процесс чтения слов и предложений у детей школьного возраста [121; 165], 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 [24] 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 [15; 18; 29; 120; 175], 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) [4], однако в значительном числе случаев паталогическая активность на ЭЭГ детей с алалией не регистрируется [18]. 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 [165]. Выявлена сниженная реактивность тета-ритма во время чтения слов и псевдослов у детей с дислексией [101], 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 у 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.

Задачи исследования

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 об особенностях ЭЭГ типично развивающихся детей и детей с нарушением рецептивной речи предложен способ коррекции нарушения рецептивной 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 1.09.2023).

Теоретическая и 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.

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 [17] и отражают протекание ряда когнитивных процессов [104].

Использовался метод регистрации 19-канальной ЭЭГ с помощью электроэнцефалографа Нейрон-Спектр-3. ЭЭГ 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.

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.

Апробация результатов исследования и 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 [20], 6 публикаций в материалах международных и всероссийских конференций.

Результаты работы представлены на научных конференциях:

1. XIV Международная Крымская конференция «Космос и Биосфера», 25 - 28 мая 2021 г.;
2. XVII International Congress «Neuroscience for Medicine and Psychology», Sudak, Crimea, Russia, May 30-June 10, 2021;
3. Scientific and Practical Conference «Modern medicine: a new approach and relevant research», 20 October, 2021, Kazakhstan;
4. IV Международный форум по когнитивным нейронаукам «Cognitive neuroscience», 2-3 декабря 2021 года, Екатеринбург;

5. XVIII International Congress «Neuroscience for Medicine and Psychology», Sudak, Crimea, Russia, May 30-June 10, 2022;
6. Междисциплинарная научно-практическая конференция с международным участием «Речь, грамотность, дислексия», Сириус, 17-19 октября 2022 г.;
7. X Всероссийская научно-практическая конференция «Центральные механизмы речи» имени проф. Н. Н. Трауготт, с международным участием, Санкт-Петербург, 24-26 Октября 2022 г.
8. XXIV съезд физиологического общества им. И. П. Павлова, Санкт-Петербург, 11–15 сентября 2023 года.

Статьи в рецензируемых журналах и патенты

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.
4. 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 (Scopus).

5. 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 (Web of Science).

6. Патент № 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.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Общие закономерности функционирования мозговых механизмов восприятия речи

Распознавание отдельных слов и ассоциирование их с конкретными объектами и действиями – это сложный процесс, наличие которого экспериментально подтверждено уже у полугодовалых младенцев [182]. Данный процесс активно развивается у детей раннего возраста [184] и лежит в основе формирования словарного запаса и адекватного речевого развития в целом [69; 70]. Исследования показывают, что становление языковых способностей и нейронных структур, лежащих в их основе, продолжается до возраста 12 лет и старше [164; 166], а по мере взросления наблюдается локализация и латерализация связанной с восприятием речи активации мозговых структур [117; 133; 141].

Восприятие разговорной речи начинается с акустико-фонологического анализа, протекающего в первичной слуховой коре и прилегающих к ней областях на протяжении первых 100 мс после акустической стимуляции [73, 74]. Различение речевых и неречевых акустических сигналов происходит в извилине Хешля и в височной плоскости (*planum temporale*), расположенной позади первичной слуховой коры [81; 94; 142]. Показано, что обработка фонем наиболее активно происходит в средней части верхней височной извилины (*superior temporal gyrus*, STG), слов – а передней части STG, словосочетаний – в передней части верхней височной борозды (*superior temporal sulcus*, STS) [53; 56; 61; 98; 136].

Последующим этапом является передача информации в вентролатеральную префронтальную кору по основным путям: вентральному (слухо-концептуальному) и дорсальному (слухо-моторному) [46]. Предполагается, что вентральный путь организован в основном билатерально, хотя различия между

функциями структур левого и правого полушария существуют, тогда как в передаче информации по дорсальному пути больше задействованы области левого полушария [83].

Вентральный путь проходит через переднюю верхнюю височную кору и заканчивается в передней и вентральной частях нижней лобной извилины (ПБ 45). Структурной основой их объединения служат нижний продольный и крючковидный пучки, а также система проводящих путей наружной капсулы [76; 133]. Структуры вентрального пути, в первую очередь, обеспечивают преобразование фонологической информации в семантическую, причем в этом процессе важную роль играет взаимодействие с гиппокампом [46].

Дорсальный путь соединяет слуховую кору с задней и дорсальной частями нижней лобной коры (поле Бродмана (ПБ) 44) через заднюю верхнюю височную кору, нижнюю теменную дольку и премоторную кору посредством дугообразного и верхнего продольного пучков [76]. Структуры, относящиеся к дорсальному пути, участвуют в преобразовании фонологической информации в семантическую на основе анализа временных характеристик речи, определения местоположения источника звука [78; 199]. Существуют доказательства участия структур дорсального потока в обработке информации на основе порядка слов в предложении [44; 45; 71], причем чем сложнее предложения, тем более выражена активация данных структур [50; 73; 74; 75; 154; 155; 171].

В процесс синтаксической и семантической интеграции слов в предложение, развивающийся примерно через 600 мс после поступления стимулов, вовлечены отдельные участки височно-лобных областей неокортекса, расположенные преимущественно в левом полушарии (при синтаксической обработке) и билатерально (при семантической). Что касается локализации этих участков и интерпретации их вклада в процессы понимания речи, то они зависят от экспериментальной ситуации и значительно отличаются в разных исследованиях [126; 183]. Выдвигается также предположение, что во время анализа синтаксически сложных предложений происходит повторная активация

сетей, осуществляющих анализ семантики и синтаксиса: средней височной извилины, нижней лобной извилины и угловой извилины левого полушария [22].

Некоторые исследования отмечают вовлечение в процесс восприятия речи областей мозга, более тесно связанных с ее продукцией, таких как моторные артикуляционные зоны [30; 113; 150; 151; 168]. Однако вопрос о роли активация этих зон систем во время восприятия речи остается дискуссионным [35, 84].

Обработка просодической информации поддерживается височно-лобной сетью в правом полушарии, которая может модулировать семантические и синтаксические процессы [23].

1.2. Методы изучения нейрофизиологических механизмов восприятия речи

Наиболее распространенным методом изучения нейрофизиологических механизмов восприятия речи являются регистрация электрической активности мозга, регистрируемой в виде электро- и магнитоэнцефалограмм (ЭЭГ и МЭГ) [33; 43; 164; 166; 167]. Эти методы имеют высокое временное разрешение и позволяют зафиксировать во времени процессы, связанные с быстрыми изменениями активности мозга во время обработки речевых сигналов. Показано, что изменения паттернов ЭЭГ играют определяющую роль в поддержании мозговых функций и могут использоваться для изучения и диагностики различного рода нарушений [17].

Наиболее распространенным способом является оценка компонентов вызванных ЭЭГ-потенциалов, связанных с обработкой речевых сигналов, или связанных с событиями потенциалов (ССП) [109; 178]. Для расчета СПП требуется многократное предъявление одних и тех же, по возможности, кратких стимулов и усреднения отрезков ЭЭГ, что ограничивает их применение для изучения процессов восприятия целостных сообщений.

Другим способом исследования механизмов восприятия слов является частотно-временной анализ ЭЭГ, в частности анализ связанных с событиями спектральных пертурбаций (СССП), который предполагает проведение вейвлет-преобразований и позволяет анализировать короткие фрагменты записей ЭЭГ. По сравнению с Фурье-анализом, вейвлет-преобразование позволяет анализировать локализованные во времени изменения ЭЭГ. Анализ СССП дает возможность на коротких временных интервалах оценить изменения мощности классических ритмов ЭЭГ, функциональное значение которых хорошо изучено. Отмечают [121; 164; 166], что этот метод позволяет обнаружить изменения в ЭЭГ, которые не выявляются при традиционном анализе ССП. Так, при восприятии правильных и содержащих семантические ошибки предложений у детей школьного возраста выявлены различия в СССП, которые не регистрируются при анализе ССП [164].

Процесс восприятия речи сопровождается изменением мощности тета-, альфа-, бета-ритмов ЭЭГ [121]. Предполагается, что увеличение мощности в определенной частотной полосе связано с активацией дополнительных нейронных ансамблей, возбуждающихся на той же частоте [135]. Изменения мощности ЭЭГ подразделяют на фазические (связанные с событиями) и тонические (фоновые). Фазические изменения ЭЭГ более быстрые и ограниченные по времени, связаны с обработкой стимулов или выполнением различного рода задач. Тонические изменения протекают более медленно и связаны с циркадными ритмами, уровнем бодрствования и наличием неврологических нарушений [104; 172].

Увеличение тонической мощности ЭЭГ в тета-диапазоне (4-8 Гц у взрослых) связывают с усилением тормозных процессов и снижением общей активации мозга: во время утомления и засыпания [21; 85; 177; 180], выполнения монотонной работы [27], а также с наличием некоторых неврологических расстройств [131; 152]. Фазическая тета-синхронизация возникает во время восприятия новой информации, кодирования и извлечения данных из памяти, решения сложных задач и детекции ошибок [52; 82; 87; 88; 104; 162]. В отличие

от синхронизации тета-активности, связанной с засыпанием, фазическое увеличение тета-ритма происходит в узком диапазоне частот [104].

Увеличение мощности тета-активности во время восприятия речевых сообщений связывают как с процессами извлечения слов из памяти, так и с выполнением задания в целом. В ряде исследований [101, 104] интерпретируют не только фазическое изменения реактивности тета-ритма во время обработки речи, но и тоническую тета-активность, которая может играть роль в процессах восприятия речи. Чем ниже тоническая тета-активность перед восприятием речи, тем выше готовность к ее обработке и успешнее выполнение когнитивных операций.

Активность ЭЭГ в альфа-частотном диапазоне (около 8-13 Гц у взрослых) доминирует в состоянии спокойного бодрствования и отражает отсутствие протекания активных процессов в соответствующих корковых зонах [2; 100; 102; 148]. Десинхронизация альфа-активности отражает состояние высокой возбудимости исследуемой зоны мозга и, по данным фМРТ, положительно коррелирует с уровнем ее активации [59; 114; 128]. Во время восприятия и обработки информации наблюдается десинхронизация альфа-активности в связанных с этими процессами зонах и синхронизация над областями, не относящимися к задаче [72; 100; 160; 161; 195]. Показано, что люди с более высоким уровнем интеллекта демонстрируют вовлечение в процесс решения задачи только тех областей мозга, которые имеют к ней непосредственное отношение, и более активное подавление активации не имеющих к ней прямого отношения областей [63], что отражает более развитые функции нисходящего контроля [100]. Снижение мощности альфа-ритма более выражено во время обработки сенсорных стимулов по сравнению с процессом решения задач, требующих когнитивной обработки и удержания информации в рабочей памяти [100]. Степень десинхронизации альфа-активности зависит не только от типа выполняемых задач, но и от уровня предшествующей выполнению задачи тонической (фоновой) альфа-активности [103; 104; 158]. Показано, что более

высокая альфа-мощность в состоянии покоя предсказывает более успешное запоминание и выполнение некоторых когнитивных задач [63; 64; 105; 188]. Снижение тонической альфа-мощности, предположительно, связано с изменением функционирования таламо-кортикальных цепей и недостаточным подавлением нерелевантной информации [106].

Десинхронизация альфа-ритма ЭЭГ во время восприятия речи может отражать как активацию процессов произвольного внимания [173], так и специфически связанные с восприятием речи процессы, например, активацию моторных артикуляционных зон [159]. В то же время, некоторыми исследователями был обнаружен рост мощности альфа-ритма в центральных, теменных и затылочных регионах в процессе восприятия предложений [3; 166]. Данный феномен связывают с активацией процессов рабочей памяти при восприятии целостного речевого сообщения.

Активность ЭЭГ в бета-частотном диапазоне (обычно 15-30 Гц у взрослых) регистрируется во время протекания многих перцептивных, когнитивных и двигательных процессов [163]. Бета-синхронизация в сенсомоторных зонах регистрируется во время физического покоя [89; 99], и сменяется десинхронизацией во время выполнения движений [80; 145]. После прекращения двигательной активности мощность сенсомоторного бета-ритма увеличивается, временно превышая предстимульный уровень [55]. Изменения мощности бета-ритма над лобными зонами регистрируется во время усиленного контроля действий [179; 192], активации рабочей памяти [119; 125], удержания внимания и решения когнитивных задач [12; 125; 163; 174; 200], однако результаты исследований часто противоречивы [144]. Так, активация процессов памяти отражаются как в увеличении бета-мощности [54; 60], так и в ее уменьшении [65; 134]. Такое несоответствие может быть связано со сложностью регистрации и анализа коротких промежутков бета-синхронизации (вспышек бета-активности) [62; 96; 153]. В недавнем исследовании было предложено разделять «непрерывную» бета-синхронизацию, имеющую низкую частоту и относительно

высокую продолжительность, и «кратковременную» высокочастотную бета-синхронизацию [153]. Выдвинуто предположение, что непрерывная бета-активность отражают функциональное торможение, а кратковременные всплески бета-активности связаны с выполнением задач [153; 174].

Увеличение мощности бета-ритма во время восприятия речи регистрируется в обширных областях неокортекса и отражает поддержание активного состояния нейронных сетей, участвующих в данных процессах [16; 37; 38]. В отдельных исследованиях выявлен как рост мощности бета-ритма в височных и теменных областях, так и ее снижение над моторными областями неокортекса. Указанное снижение связывают с процессами активации моторного репертуара речи и реактивностью бета-компонента сенсомоторного мю-ритма [159].

Таким образом, регистрация и анализ ЭЭГ – информативный, а также наиболее распространенный и доступный метод, позволяющий фиксировать и интерпретировать реакции мозга во время восприятия речи. Восприятие слов и предложений сопровождается реактивностью ЭЭГ в тета-, альфа- и бета-диапазонах, причем паттерн изменений зависит от зоны регистрации и экспериментальной ситуации.

1.3. Паттерны ЭЭГ-реакций во время восприятия речи и их особенности у типично развивающихся детей

У детей и взрослых установлена связь процесса обработки слов с синхронизацией тета-ритма [38; 39; 112; 164; 166; 167]. Предполагается, что рост тета-активности в лобно-центральных и теменных зонах с латентным периодом 150-200 мс от начала стимула связан с лексико-семантическими операциями поиска и извлечения слов из памяти [121]. В ряде работ показано, что синхронизация тета-активности становится более выраженной, когда извлечение слов становится более трудным, например, при обработке псевдослов [101; 121]. Синхронизация тета-активности наблюдается как при восприятии отдельных слов

[39], так и предложений, отражая в этом случае процессы не только распознавание слов, но и их интеграцию в целостное сообщение [38; 112]. Также выявлено более значимое увеличение мощности тета-ритма в правом полушарии при обработке предложений со сложной структурой [187].

Несмотря на схожесть динамики тета-ритма при восприятии речи у детей и взрослых, появляется все больше свидетельств того, что амплитуда и топография тета-синхронизации меняются с возрастом [164; 166]. Например, дети десяти лет во время чтения слов демонстрируют более выраженное по сравнению со взрослыми увеличение тета-активности в правом полушарии [173], а в 12-летнем возрасте правополушарная синхронизация тета-активности значительно уменьшается [121].

В отдельных исследованиях показана положительная связь между выраженностью тета-синхронизации во время восприятия речи у типично развивающихся 12-месячных детей и степенью развития вербальных и невербальных когнитивных навыков [97].

Наряду с синхронизацией тета-активности наблюдается десинхронизация альфа-ритма ЭЭГ, которая может отражать как активацию процессов внимания [191], так и специфически связанные с восприятием речи процессы [77; 159]. Так, было показано, что восприятие речевых сигналов вызывает более значимую десинхронизацию альфа-ритма в центральных областях коры (сенсомоторного ритма) по сравнению с восприятием неречевых стимулов [181]. В некоторых исследованиях обнаружен рост мощности альфа-ритма у детей двух-трех лет [3], 10-12 лет и взрослых [164; 166; 168] в центральных, теменных и затылочных регионах в процессе восприятия речевых сигналов. Поскольку в работе J. M. Schneider и соавторов [164; 166] мощность альфа-ритма была тем выше, чем сложнее для восприятия было предложение или словосочетание, данный феномен связывают с активацией процессов рабочей памяти. L. Meyer с коллегами [124] считают, что усиление альфа-ритма отражает тормозные процессы, необходимые для предотвращения разного рода преждевременных реакций, мешающих

интеграции вербальной информации. Последнее предположение согласуется с представлением о том, что рост мощности альфа-ритма связан с процессом активного торможения нейронных цепей, не участвующих в текущей когнитивной задаче [41].

Также отмечается увеличение мощности бета-ритма в обширных областях неокортекса, которое связывают с поддержанием активного состояния нейронных сетей, участвующих в процессах восприятия речи [37; 115; 116]. В отдельных исследованиях [159] выявлен как рост мощности бета-ритма в височных и теменных областях, так и ее снижение в моторных областях неокортекса. Указанное снижение связывают с процессами активации моторных зон во время восприятия речи [159]. Наиболее изучена роль увеличения мощности бета-ритма в процессах синтаксической интеграции слов в предложения. Так, показано, что при чтении правильно составленного предложения у взрослых происходит постепенное увеличение мощности бета-активности вместе с синхронизацией тета-ритма. Однако если предъявленные предложения содержат грамматические и логические ошибки, растет мощность только тета-ритма, а бета-ритма – снижается [37].

У детей 10-12 лет эффект синхронизации бета-ритма во время восприятия предложений менее выражена по сравнению со взрослыми. Предполагается, что механизм интеграции слов в целостное речевое сообщение у взрослых больше проявляется в синхронизации бета-активности, тогда как у детей – в более длительной и затрагивающей лобно-центральные зоны правого полушария синхронизации тета-ритма [166].

В то время как реактивность ЭЭГ во время восприятия речи у взрослых относительно хорошо изучена [39; 112; 159], исследования с участием детей по-прежнему немногочисленны. Кроме этого, в большинстве работ изучается процесс чтения слов и предложений у детей школьного возраста [121; 165]. Такое исследование невозможно провести у детей более раннего возраста в связи с отсутствием у них навыка чтения. В связи с этим выявление изменений в

становлении процесса слухового восприятия речи у детей дошкольного возраста является актуальным, особенно с учетом роста числа детей с речевыми нарушениями [24].

1.4. Особенности ЭЭГ у детей с нарушениями речи

Показано, что степень речевого развития и его нарушения отражаются как в особенностях фоновой активности, так и в динамике ЭЭГ при восприятии целостных речевых сообщений. Так, у детей 7-8 лет с более низким уровнем владения речью была выявлена повышенная мощность тета-ритма во фронтальных и центральных отведениях в ситуации спокойного бодрствования с закрытыми глазами [11]. По мнению автора исследования, указанные особенности ЭЭГ свидетельствуют о незрелости фронто-таламической системы, что отражается в дефиците фонематического слуха, определяющего развитие звукового анализа и разделяющего звукокомплексы (сочетания звуков, слогов и слов) на составные элементы (фонемы). Незрелость данной системы приводит также к нарушениям понимания логико-грамматических отношений, внешнего содержания высказывания и его подтекста, нарушению лексического строя речи и к трудностям словоупотребления. У детей 4-9 лет с расстройствами аутистического спектра (РАС) зарегистрирована более высокая мощность тета- и бета-ритмов по сравнению с таковой у типично развивающихся детей [108]. В группе детей с РАС в возрасте 8-12 лет также регистрируется увеличение индекса медленноволновой активности в лобно-центральных областях и индекса бета2-активности – в лобно-центральных и теменных областях, что может свидетельствовать о дисбалансе процессов возбуждения и торможения. В данном исследовании индексы медленноволновой и бета2-активности отрицательно коррелировали с уровнем понимания речи у детей с РАС [10].

В группе детей с специфическими нарушениями речи выявлена сниженная мощность альфа-активности в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми и открытыми глазами в височных, теменных и затылочных зонах левого полушария [175], однако в данном исследовании дети не были разделены на группы в соответствии преобладанием нарушения экспрессивной или рецептивной речи. В группе детей 3-4 лет с задержками развития рецептивной

речи отмечались изменения ЭЭГ в виде регионального замедления альфа-, тета- и дельта-активности ЭЭГ [15].

Трудности понимания обращенной речи являются основным проявлением тяжелого детского языкового расстройства – нарушения рецептивной речи (F80.2 по МКБ-10 [19]), или импрессивной (сенсорной) алалии. Предполагается, что у детей с сенсорной алалией нарушены функции центра Вернике и межполушарные связи, при этом не нарушен периферический слух и первично сохранен интеллект [4; 6]. Имеются данные о связи алалии с частотой выявления эпилептиформных и локальных патологических изменений ЭЭГ (с преобладанием в височных областях) [4], однако в значительном числе случаев паталогическая активность на ЭЭГ детей с алалией не регистрируется [18]. У детей с алалией описаны два типа изменений фоновой ЭЭГ: дезорганизация и снижение по амплитуде альфа-ритма ЭЭГ в левом полушарии; наличие билатерально-синхронных генерализованных волн в тета-диапазоне ЭЭГ [18]. При этом в указанных исследованиях не выделялись в отдельные группы дети с сенсорной алалией (нарушением рецептивной речи) и моторной алалией (нарушением экспрессивной речи), паттерны ЭЭГ которых могут различаться. Исследование ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования выявило в группе детей 5-7 лет со специфическими нарушениями рецептивной речи более высокую мощность тета-ритма в затылочных отведениях по сравнению с таковой в группе детей с нарушением экспрессивной речи [29].

В отдельных работах показана связь между показателями альфа-ритма ЭЭГ у детей 4-7 лет и сформированностью навыков чтения [120]. Схожие изменения фоновой ЭЭГ (более низкая частота альфа-ритма, меньшая выраженность и регулярность альфа-активности) регистрируются у детей с задержками речевого развития [14] и с синдромом дефицита внимания и гиперактивности [9].

Работы, направленные на изучение электрической активности мозга во время восприятия речи у детей с различного рода нарушениями восприятия речи, относительно немногочисленны. Так, у детей, 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 [165]. В исследовании с использованием магнитоэнцефалографии у подростков с РАС во время чтения слов выявлена более выраженная, чем у типично развивающихся детей, синхронизация тета-ритма в лобно-височных зонах. Учитывая то, что дети с РАС продемонстрировали более низкую точность распознавания слов, увеличение синхронизации тета-активности связывают с необходимостью компенсаторного вовлечения отдельных зон мозга во время лексико-семантического поиска слов и необходимостью дополнительного задействования процессов когнитивного контроля [198]. При этом младенцы с высоким риском РАС имеют менее выраженную реактивность ЭЭГ в тета-диапазоне во время восприятия речи [95]. В группе 12-месячных детей с высоким риском развития РАС величина тета-синхронизации в лобных зонах во время восприятия речи положительно связана со степенью развития вербальных и невербальных когнитивных навыков в более позднем возрасте [97]. Аналогичные закономерности были выявлены и в группе детей с низким риском развития РАС, что позволяет подтвердить положительную роль модуляций тета-ритма у младенцев в становлении процессов внимания и восприятия информации [140]. В. Климеш и соавторы выявили сниженную реактивность тета-активности во время чтения слов и псевдослов у детей с дислексией [101], отражающую специфические нарушения их кодирования в памяти.

У детей с специфическими нарушениями речи наблюдалась менее выраженная реактивность альфа-ритма в лобных, теменных и височных зонах левого полушария во время восприятия слов [67]. Авторы связывают такие результаты с установленными трудностями лексической и фонологической обработки в группе детей со специфическими нарушениями речи. Однако в исследовании не проводилось разделение детей на группы с преобладанием

нарушений экспрессивной и рецептивной речи, процесс восприятия речи в которых может протекать по-разному.

Таким образом, несмотря на относительно хорошо изученные механизмы и ЭЭГ-корреляты восприятия речи у взрослых, данные об отражении в показателях ЭЭГ процесса развития речевой сферы у детей по-прежнему малочисленны. Представляется актуальным анализ ЭЭГ-реакций во время восприятия слов и предложений у типично развивающихся детей разного возраста и их сверстников с нарушениями речи. В связи с ключевой ролью процесса восприятия речи в дальнейшем развитии речевой сферы [110; 201], особый интерес представляет исследование ЭЭГ-реакций во время слухового восприятия речи в группе детей с нарушением рецептивной речи (сенсорной алалией), имеющих специфические трудности понимания смысла слов и предложений.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Характеристика выборки

В исследовании приняли участие 157 детей в возрасте от 4 до 10 лет, в том числе 93 типично развивающихся детей, 25 детей с установленным диагнозом нарушение рецептивной речи (F80.2 по МКБ-10 [19]), 39 детей с задержкой психоречевого развития (ЗПРР). 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. Все дети были правшами по результатам прохождения эдинбургского опросника [138], 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 epileptiformной 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] [13].

Типично развивающиеся дети были разделены на две возрастные подгруппы (таблица 2.1), включающие детей дошкольного возраста и младшего школьного возраста в соответствии с возрастной периодизацией Д. Б. Эльконина [31].

Таблица 2.1 – Половозрастной состав выборки типично развивающихся детей

	Дошкольники 4-6 лет	Школьники 7-10 лет
Количество испытуемых	n = 54 32 мальчика и 22 девочки	n = 39 30 мальчиков и 9 девочек

Выборку детей с нарушением рецептивной речи составили 25 детей с установленным диагнозом «Нарушение рецептивной речи» (F80.2) в возрасте от четырех до семи лет (18 мальчиков и 7 девочек), все дети были дошкольниками, имели показатели вербального интеллекта ниже 80 баллов (медиана 54,5; интерквартильный размах 7,0), показатели невербального интеллекта – медиана 85 баллов, интерквартильный размах 31,0. Для сравнения были выбраны 25 типично развивающихся детей; группы были идентичны по полу и максимально близких по возрасту. Средний возраст в обеих группах значимо не различался и составил $6,30 \pm 1,39$ и $6,28 \pm 1,57$ лет соответственно.

Выборку детей с задержкой речевого развития составили 39 детей в возрасте от четырех до семи лет (26 мальчиков и 13 девочек), все дети были дошкольниками, имели показатели вербального интеллекта 79 баллов (интерквартильный размах [71; 86], невербального – 100 баллов (интерквартильный размах [93; 108]. Для сравнения были выбраны 39 типично развивающихся детей; группы были идентичны по полу и максимально близки возрасту. Средний возраст в обеих группах значимо не различался и составил $5,70 \pm 1,94$ лет и $5,65 \pm 1,78$ лет соответственно.

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.

2.2. Структура исследования

Исследование проводилось в изолированном от звуков помещении площадью 16 квадратных метров. Каждый ребенок приходил на исследование два раза: в первый раз проводилась оценка уровня развития интеллекта с использованием теста Векслера [13] длительностью 30-45 минут, во второй раз

проводилась запись ЭЭГ длительностью 15-20 минут. Тестирование проводилось в присутствии родителя.

Для оценки уровня интеллектуального развития детей 4-5 лет использовался тест Векслера (WPPSI), включающий вербальные субтесты («Осведомленность», «Словарный», «Арифметический», «Сходство», «Понятливость») и невербальные субтесты («Дома животных», «Недостающие детали», «Лабиринты», «Геометрические фигуры», «Кубики (пластины)»). Для оценки уровня интеллектуального развития детей 6-10 лет использовали тест Векслера (WISC), включающий вербальные субтесты («Осведомленность», «Понятливость», «Арифметический», «Сходство», «Словарный») и невербальные субтесты («Недостающие детали», «Последовательные картинки», «Кубики Коса», «Складывание фигур», «Шифровка»). Рассчитывались показатели вербального, невербального и общего интеллекта [13].

Во время записи ЭЭГ ребенок располагался в кресле перед экраном монитора, на который выводились видеозаписи. Все видеоизображения располагались в центре монитора с диагональю 32 дюйма, лицо и плечи говорящего человека в ситуациях 7-9, а также изображение мяча в ситуации 3 занимали примерно 30% от площади экрана. Ребенок размещался таким образом, чтобы его глаза находились на средней линии от центра экрана монитора на расстоянии приблизительно 3 метра, а ноги фиксировались неподвижно на регулируемой по высоте подставке. Электроэнцефалограф располагался за ребенком на расстоянии 0,5 метров.

Регистрация электроэнцефалограммы. ЭЭГ регистрировали с помощью электроэнцефалографа Нейрон-Спектр-3 монополярно в соответствии с международной системой «10-20» в лобных (Fp1, Fp2, Fz, F3, F4, F7, F8), центральных (Cz, C3, C4), височных (T3, T4, T5, T6), теменных (Pz, P3, P4) и затылочных (O1, O2) отведениях. Использовался текстильный шлем с предустановленными хлор-серебряными электродами MScap. В качестве

референтного использовался объединенный ушной электрод. Сопротивление электродов не превышало 5 кОм. Частота дискретизации составляла 500 Гц.

ЭЭГ регистрировалась в следующих ситуациях:

1) спокойное бодрствование с закрытыми глазами продолжительностью 2-3 минуты;

2) спокойное бодрствование с открытыми глазами продолжительностью 1-2 минуты;

3) устойчивое зрительное внимание на видеоизображении вращающегося предмета продолжительностью 1-2 минуты;

4) пассивное слуховое восприятие 15-30 слов-существительных, обозначающих знакомые детям четырех лет конкретные предметы (стол, лампа, куртка, солнце, дверь, мыло, шапка, стакан, шарф, дом, кружка, камень, шкаф, тряпка, ложка, снег, лимон, краски, окно, тапки, груша, мяч, книжка, вилка, трава, кресло, банка, рыба, банан) продолжительностью 1-3 минуты; средняя продолжительность слов составляла 296 ± 84 мс, межстимульный интервал – 4500-5500 мс;

5) пассивное слуховое восприятие 15-30 глаголов, обозначающих знакомые детям четырех лет действия (бежать, прыгать, жевать, петь, ходить, лежать, бросать, стучать, писать, сжимать, ловить, кидать, упасть, брать, писать, сесть, сгибать, ловить, пинать, толкать, двигать, красить, пить, читать, резать, встать, строить, шить, кусать) продолжительностью 1-3 минуты; средняя продолжительность глаголов составляла 256 ± 78 мс, межстимульный интервал – 4500-5500 мс;

6) пассивное слуховое восприятие 15-30 псевдослов продолжительностью 1-3 минуты (вакан, крамон, солша, грува, литап, ватра, лопа, бакур, кресмон, калож, красмень, грука, пакрес, крека, оклам, грува, кустол, солба, монка, ломяч, кавил, нока, кимяч, калим, плокниж, багруш, менька, тралам, бакурт, китряп), средняя продолжительность псевдослов составляла 307 ± 83 мс, межстимульный интервал – 4500-5500 мс;

7) пассивное восприятие аудиовидеозаписи чтения стихотворения, содержащего 5 правильно расположенных глаголов, продолжительностью 25 секунд;

8) пассивное восприятие аудиовидеозаписи чтения стихотворения, в котором глаголы переставлены местами, продолжительность – 29 секунд;

9) пассивное восприятие аудиовидеозаписи чтения стихотворения, в котором 5 глаголов заменены псевдословами, продолжительность – 29 секунд.

Во всех экспериментальных ситуациях звук транслировался через встроенные в экран монитора колонки, громкость звука в месте расположения ребенка составляла 40-60 дБ. Перед предъявлением слов и псевдослов (ситуации 4-6) давалась инструкция: «Сейчас будет звучать слова, слушай внимательно». Задания выполнялись до тех пор, пока ребенок внимательно слушал слова, минимальное количество прослушанных слов для включения записи ЭЭГ в исследование – 15 слов.

Псевдослова генерировались посредством соединения двух слогов, из которых состояли существительные в ситуации 4. Из полученных случайным образом псевдослов отбирались те псевдослова, звучание которых не вызывало ассоциаций с существующими словами.

Перед предъявлением стихотворений (ситуации 7-9) давалась инструкция: «Сейчас будет звучать стихотворение, слушай внимательно».

Правильное по смыслу стихотворение (ситуация 7):

Это глазки, чтобы видеть,
 Это ножки, чтоб бежать,
 Это ушки, чтобы слышать,
 Это носик, чтоб дышать,
 Это ручки, чтобы маму
 Очень крепко обнимать.

Неправильное по смыслу стихотворение (ситуация 8):

Это глазки, чтобы слышать,

Это ручки, чтоб бежать,
Это носик, чтобы видеть,
Это ушки, чтоб дышать,
Это ножки, чтобы маму
Очень крепко обнимать.

Стихотворение с псевдословами (ситуация 9):

Это глазки, чтобы мыкать,
Это ножки, чтоб нылать,
Это ушки, чтобы гмыкать,
Это носик, чтоб лынять,
Это ручки, чтобы маму
Очень крепко обклавать.

После предъявления стихотворений (ситуации 7-9) задавался вопрос о правильности звучащего стихотворения.

Записи ЭЭГ были отфильтрованы в диапазоне от 1 до 50 Гц, артефакты удалялись с помощью метода анализа независимых компонент в программе EEGLAB.

Частотные диапазоны ритмов ЭЭГ определялись индивидуально. Для определения 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. Компоненту ЭЭГ данного частотного диапазона, демонстрирующую супрессию амплитуды при открывании глаз в теменно-затылочных отведениях, рассматривали как альфа-ритм. За нижнюю границу тета-ритма принимали частоту 3 Гц, в качестве бета-активности рассматривали активность в частотном диапазоне 13–30 Гц [93].

При анализе ЭЭГ в ситуациях спокойного бодрствования с закрытыми и открытыми глазами, устойчивого зрительного внимания (ситуации 1-3) фрагменты ЭЭГ подвергались быстрому преобразованию Фурье с эпохой анализа 2,5 секунды. Применялась оконная функция Блэкмана. При обработке ситуаций 1-3 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 слов в ситуациях 4-9 использовали частотно-временной анализ с вейвлетом Морле. Для ситуаций 4-6 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. Показатели СССП рассчитывали как логарифм отношения мощностей ритмических диапазонов постстимульной и предстимульной ЭЭГ. 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). Отрицательные значения СССП соответствуют десинхронизации ЭЭГ и отмечены на графиках синим цветом, положительные значения – синхронизации, отмечены на графиках красным цветом. Замкнутыми белыми линиями выделены участки графика со статистически значимыми снижением, черными – повышением мощности ЭЭГ относительно предстимульного интервала ($p < 0,01$). Шкала в правой части рисунка отражает логарифм отношения мощностей постстимульной и предстимульной ЭЭГ в дБ. Пример графика показан на рис.2.1.

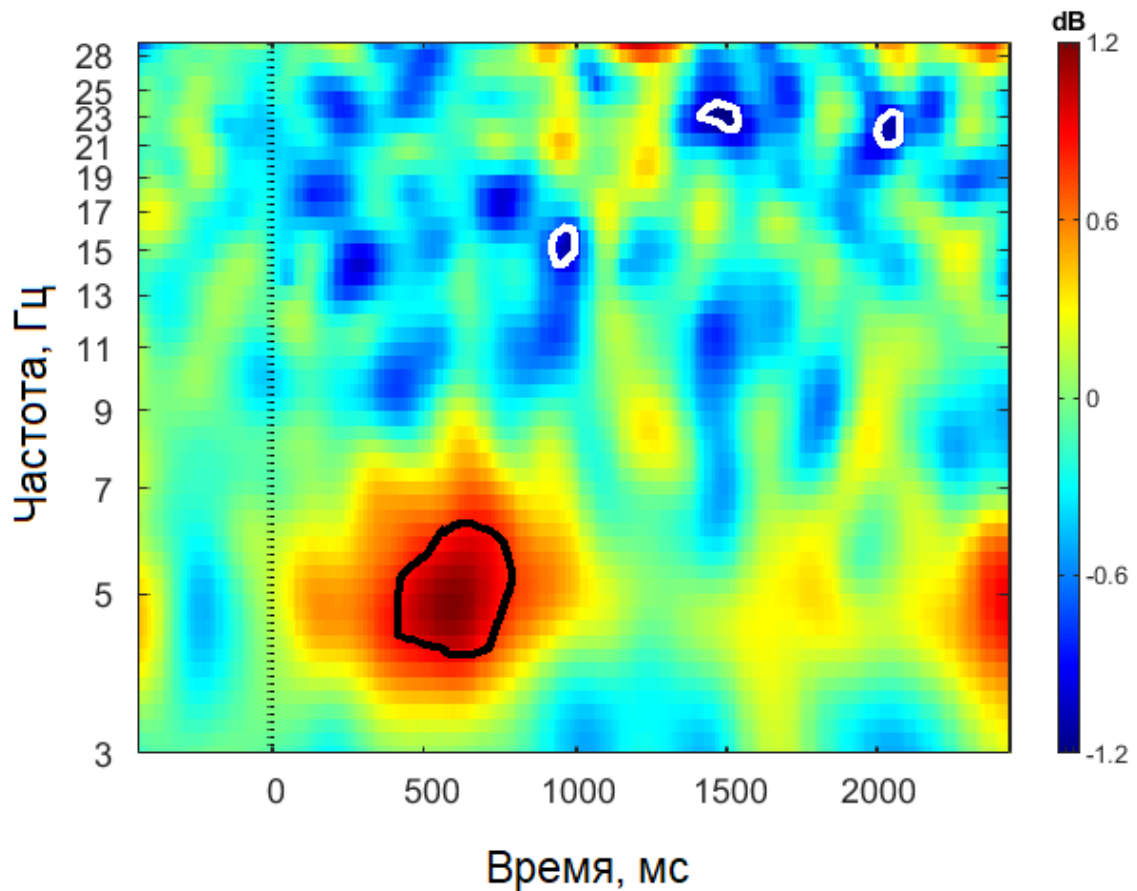


Рис. 2.1 — Пример графика СССП в отведении С4

Для анализа СССП в ситуациях 7-9 были выбраны моменты предъявления глаголов, имеющих правильное расположение (ситуация 7); неправильно расположенных глаголов (ситуация 8) и псевдослов, на которые были заменены глаголы в ситуации 9. 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. Временное разрешение составило 9 мс и рассчитывалось как отношение длительности анализируемого интервала (1800 мс с учетом исключения краевых эффектов) и количества отсчетов (200 отсчетов).

2.3. Статистическая обработка полученных данных

Для статистической обработки использовали программы STATISTICA v.10 и MATLAB. Для определения нормальности распределения данных использовался критерий Шапиро-Уилка. Для описания данных, имеющих нормальное распределение, указывалось среднее значение и стандартная ошибка среднего. Для описания распределений, отличных от нормального, указывалась медиана и интерквартильный размах.

При анализе СССП с использованием дисперсионного анализа ANOVA с влиянием фактора ПОЛ (мужской и женский) во всех сравнениях не оказало значимого влияния на исследуемые различия, в связи с чем разделение групп по половому признаку не проводилось. Различия в амплитуде ритмов ЭЭГ в ситуациях спокойного бодрствования с закрытыми и открытыми глазами, устойчивого зрительного внимания анализировали с помощью ANOVA 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 (оценка F-распределения).

Статистическую обработку данных в ситуациях 4-9 проводили 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 использовали многофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями (repeated measures ANOVA) 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, в качестве данных предстимульной ЭЭГ использовалось усредненное значение 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 СССП до и после стимула использовали апостериорные t -тесты ($p < 0.01$).

Одним из достоинств программы EEGLAB является возможность межгруппового сравнения СССП с помощью пермутационной статистики (статистики перестановок). Пермутационная статистика рекомендована для анализа больших наборов данных, таких как результаты частотно-временного анализа ЭЭГ, поскольку может использоваться вне зависимости от соответствия распределения данных тому или иному закону, относительно надежна при анализе экспериментов с участием небольшого количества испытуемых, не требует применения дополнительных поправок [57]. Пермутационная статистика была применена при оценке различий СССП в группах детей дошкольного и младшего школьного возраста, типично развивающихся детей и детей с ЗПРР, нарушением рецептивной речи. Для каждого канала и точки частотно-временной области на основе метода перестановок генерировалась искусственная выборка, сформированная в результате случайных перестановок данных исходной выборки, рассчитывалась t -статистика для полученной выборки. Путем повторения данной операции 2000 раз формировалось нулевое распределение, состоящее из 2000 статистик искусственно сгенерированных выборок. Далее статистики исходных выборок сравнивались с полученным нулевым распределением. Значимыми считались различия при $p < 0,01$ – в этом случае статистики исходной выборки входили в 0,5% наибольших или 0,5% наименьших значений нулевого распределения [122]. В противном случае принималась нулевая гипотеза, делался вывод об отсутствии различий данных в анализируемых группах в определенном отведении и точке частотно-временной области. Дополнительная коррекция на множественные измерения не проводилась, однако интерпретировались частотно-временные кластеры,

содержащие не менее 50 пикселей. Преимущества проведения расчетов для каждой точки частотно-временной области заключается в учете возможного различия в распределении параметров ЭЭГ на разных частотах и в разные временные промежутки.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Частотно-временные характеристики ЭЭГ типично развивающихся детей разного возраста во время слухового восприятия существительных

3.1.1. Реактивность ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей 4-10 лет во время слухового восприятия существительных

Анализ СССП в группе типично развивающихся детей 4-10 лет показал 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. Наблюдалась десинхронизация активности в альфа- и бета-диапазонах, наиболее выраженная в лобных и центральных зонах (рис. 3.1).

Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 14-103, 308-1102 мс.

Результаты апостериорного анализа представлены в таблице 3.1.

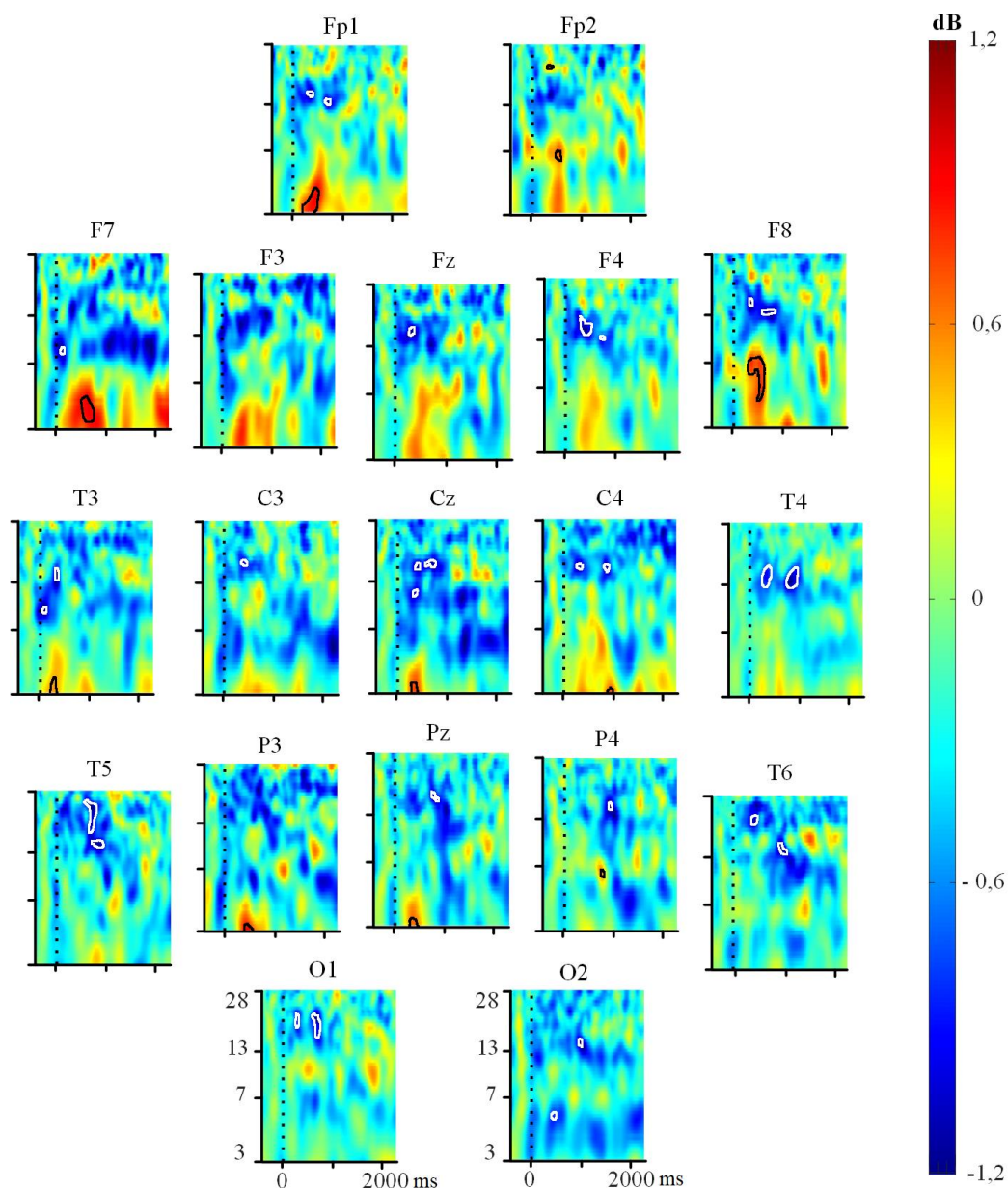


Рис. 3.1 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации ЭЭГ у типично развивающихся детей 4-10 лет во время прослушивания существительных. Каждый фрагмент рисунка соответствует временному промежутку от -500 до 2500 мс от начала стимула (момент 0) и диапазону частот от 3 до 28 Гц. Замкнутыми белыми линиями выделены участки графика со статистически значимыми снижением, черными – повышением мощности ЭЭГ относительно предстимульного интервала ($p < 0,01$). Шкала в правой части рисунка отражает логарифм отношения мощностей постстимульной и предстимульной ЭЭГ в дБ.

Таблица 3.1 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически значимые связанные с прослушиванием существительных спектральные пертурбации в группе детей 4-10 лет

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	Fp1 (308-704), Fp2 (601-675), F7 (702-938), F8 (366-703), Cz (335-496), C4 (1070-1102), Pz (350-584), P3 (454-660), P4 (894-909), T3 (308-367)
Десинхронизации тета-активности	O2 (513-615)
Десинхронизация альфа-активности	F7 (28-103), F8 (630-923), Cz (352-441), T3 (28-103)
Синхронизация бета-активности	Fp2 (439-542)
Десинхронизация бета-активности	Fp1 (308-396, 733-880), Fz (365-511), F4 (337-645, 850-908), F8 (320-438, 657-949), Cz (394-525, 657-876), C3 (469-557), C4 (410-527, 1026-1102), Pz (803-1102), P4 (1022-1102), T3 (337-366), T4 (308-527, 803-1102), T5 (770-1022), T6 (441-588, 1020-1102), O1 (337-469, 733-952), O2 (1099-1102)

3.1.2. Возрастные особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей во время слухового восприятия существительных

Анализ СССП в группе типично развивающихся детей 4-6 лет показал увеличение мощности колебаний в диапазоне тета-активности ЭЭГ во временном интервале 200-800 мс после начала стимула и десинхронизацию альфа-активности (рис. 3.2). Однако дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временного промежутка 1617-1764 мс.

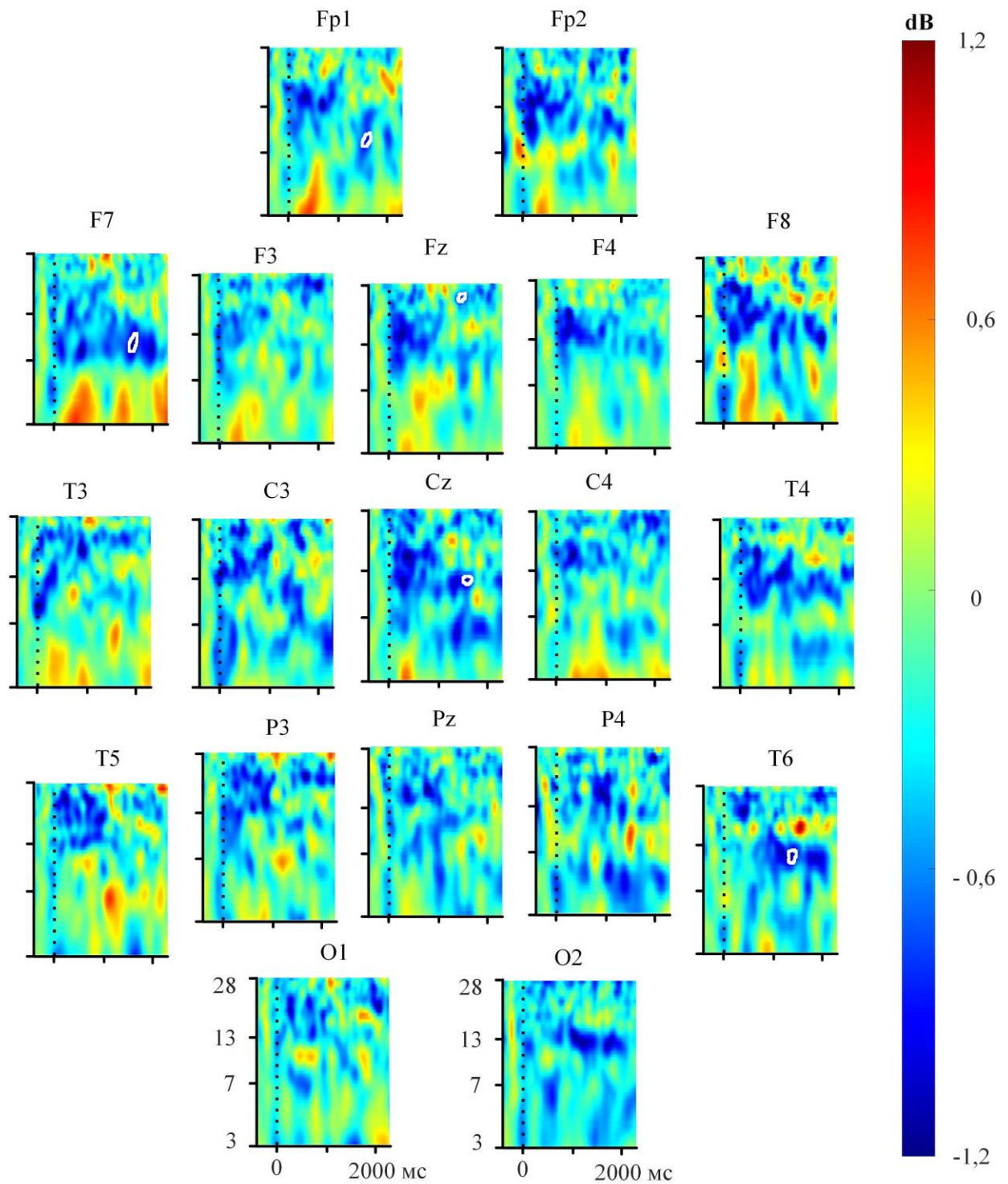


Рис 3.2 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 4-6 лет во время прослушивания существительных.

Обозначения как на рис. 3.1

Несмотря на выраженную синхронизацию тета-активности в лобных и височных локусах левого полушария, применение поправки Хьюнха-Фельдта показало, что различия с предстимульной активностью не достигли уровня статистической значимости. Зарегистрирована достигающая уровня статистической значимости десинхронизация альфа- и бета-активности (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически значимые связанные с прослушиванием существительных спектральные пертурбации в группе детей 4-6 лет

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Десинхронизация альфа-активности	Fp1 (1690-1764), F7 (1617-1764), Cz (1617-1764), T6 (1617-1690)
Десинхронизация бета-активности	Fz (1617-1764)

Во время прослушивания слов-существительных в группе детей младшего школьного возраста наблюдалась синхронизация ЭЭГ в тета-диапазоне в лобных, центральных, теменных и височных отведениях, наиболее выраженная в локусе F4 (рис. 3.3). Дисперсионный анализ с повторными измерениями в группе детей 7-10 лет не выявил значимого влияния взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА, что может быть связано с относительно небольшим объемом выборки и коррекцией уровня значимости с применением поправки Хьюнха-Фельдта.

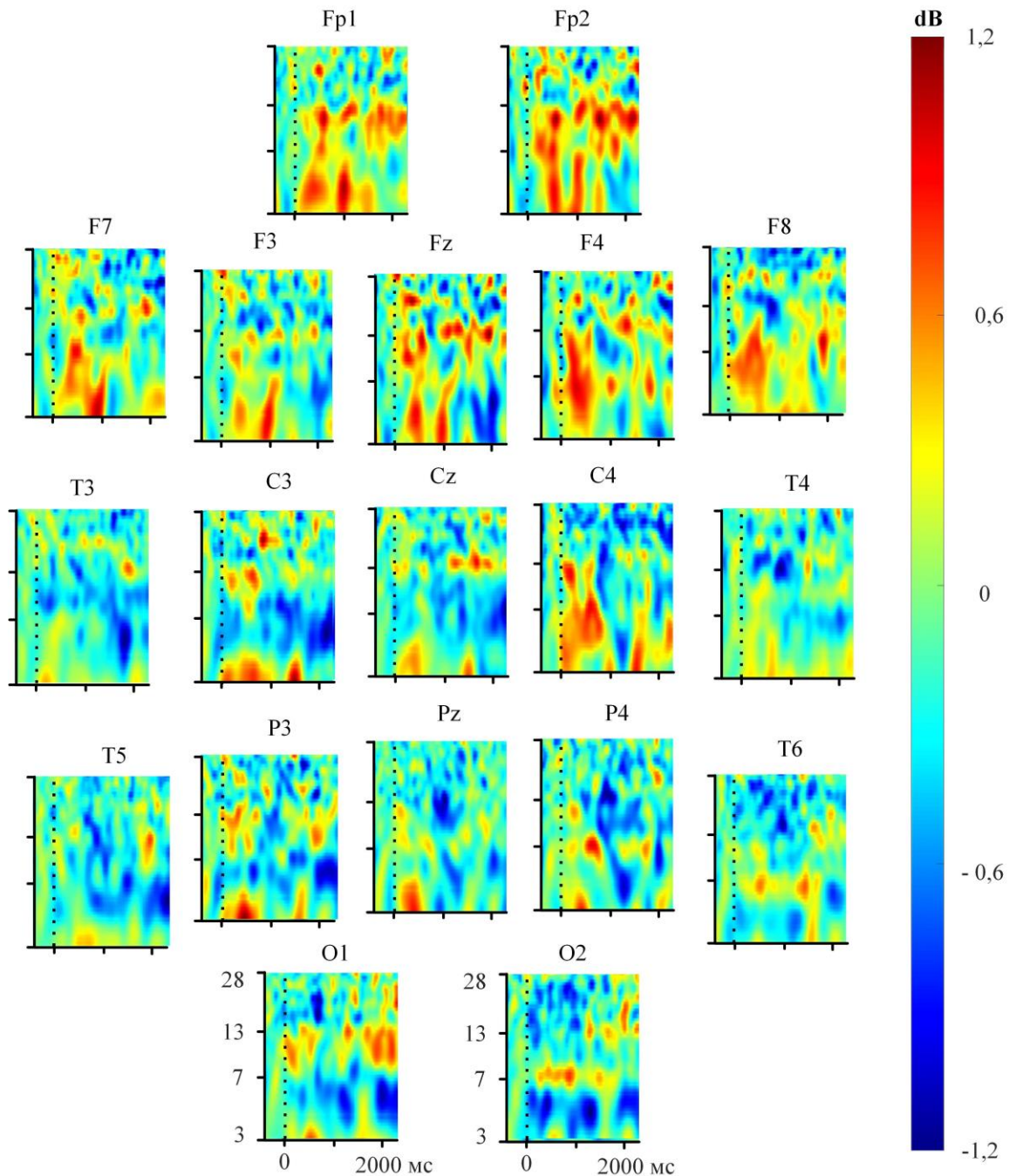


Рис. 3.3 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 7-10 лет во время прослушивания существительных. Обозначения как на рис. 3.1

Выявлены значимые различия в реактивности тета-ритма во время восприятия слов-существительных в группах детей дошкольного и младшего школьного возраста (рис. 3.4).

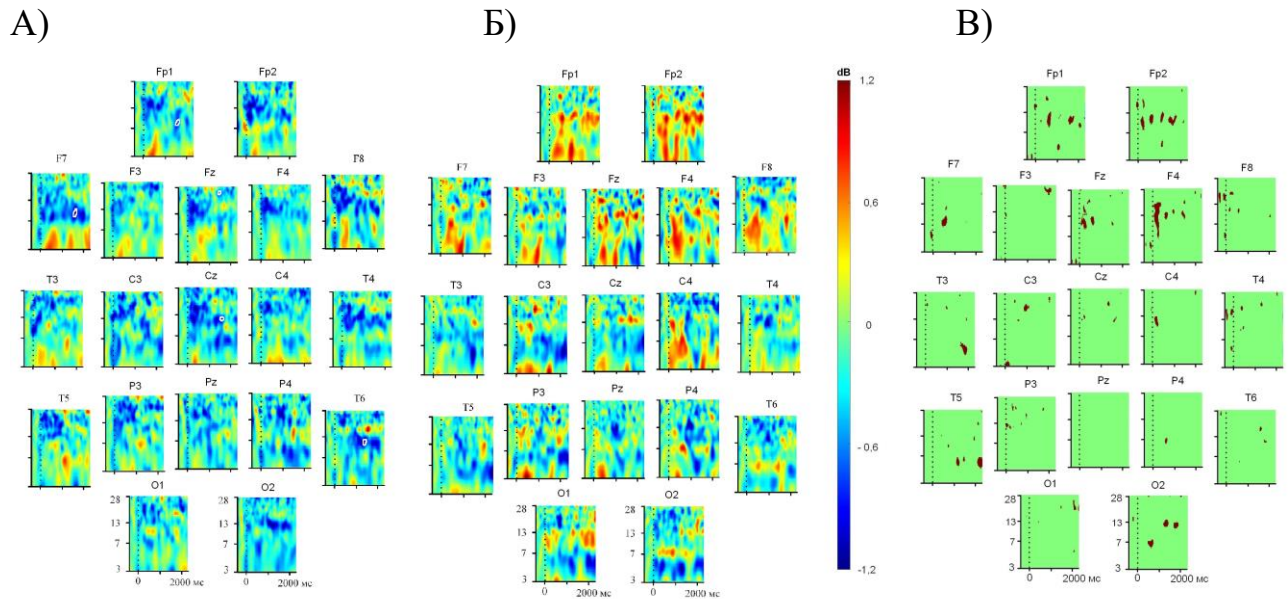


Рис. 3.4 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации время прослушивания существительных в группе типично развивающихся детей 4-6 лет (А), 7-10 лет (Б), межгрупповые различия, $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.1

В локусе F4 у детей школьного возраста наблюдается значимо более выраженная тета-синхронизация через 108-380 мс по сравнению с показателями в группе детей дошкольного возраста. Аналогичные изменения были зарегистрированы в локусе Fp1 на промежутке 1055-1200 мс и в локусе Fp2 через 1130-1218 мс после начала стимула.

В локусе C3 через 10-250 мс и P4 через 610-740 мс у детей школьного возраста наблюдается синхронизация тета-активности, тогда как у детей дошкольного возраста – десинхронизация. В локусе T3 на промежутке 1850-2050 мс и в локусе T5 через 1150-1300 мс, 2200-2500 мс у детей школьного возраста через регистрируется десинхронизация тета-активности, сменяющая предшествующую синхронизацию, тогда как у детей дошкольного возраста продолжается синхронизация тета-активности.

Значимые различия в реактивности альфа-активности во время восприятия слов в группах детей дошкольного и младшего школьного возраста выявлены в

локусах Fp1, Fp2, Fz, F4, F7, F8, T5, C4, P3, O2. У детей дошкольного возраста наблюдалась десинхронизация альфа-активности, тогда как у детей школьного возраста – синхронизация.

Значимые различия в реактивности бета-активности во время восприятия слов в группах детей дошкольного и младшего школьного возраста выявлены в локусах Fp1, Fp2, Fz, F3, F4, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Cz, C3, C4, P3, O1, O2. У детей дошкольного возраста наблюдалась десинхронизация бета-активности, тогда как у детей школьного возраста – синхронизация.

3.2. Частотно-временные характеристики ЭЭГ типично развивающихся детей разного возраста во время слухового восприятия глаголов

3.2.1. Реактивность ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей 4-10 лет во время слухового восприятия глаголов

Анализ СССП в группе типично развивающихся детей 4-10 лет показал увеличение мощности колебаний в диапазоне тета-активности ЭЭГ во временном интервале 200-500 мс после начала стимула в лобных, центральных и височных отведениях и ее последующую десинхронизацию (рис. 3.5). Регистрировалась десинхронизация альфа-ритма в теменно-затылочных отведениях и синхронизация бета-активности в лобных и височных отведениях.

Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 307-400 мс, 1102-1499 мс. Результаты апостериорного анализа представлен на рис. 3.5 и в таблице 3.3.

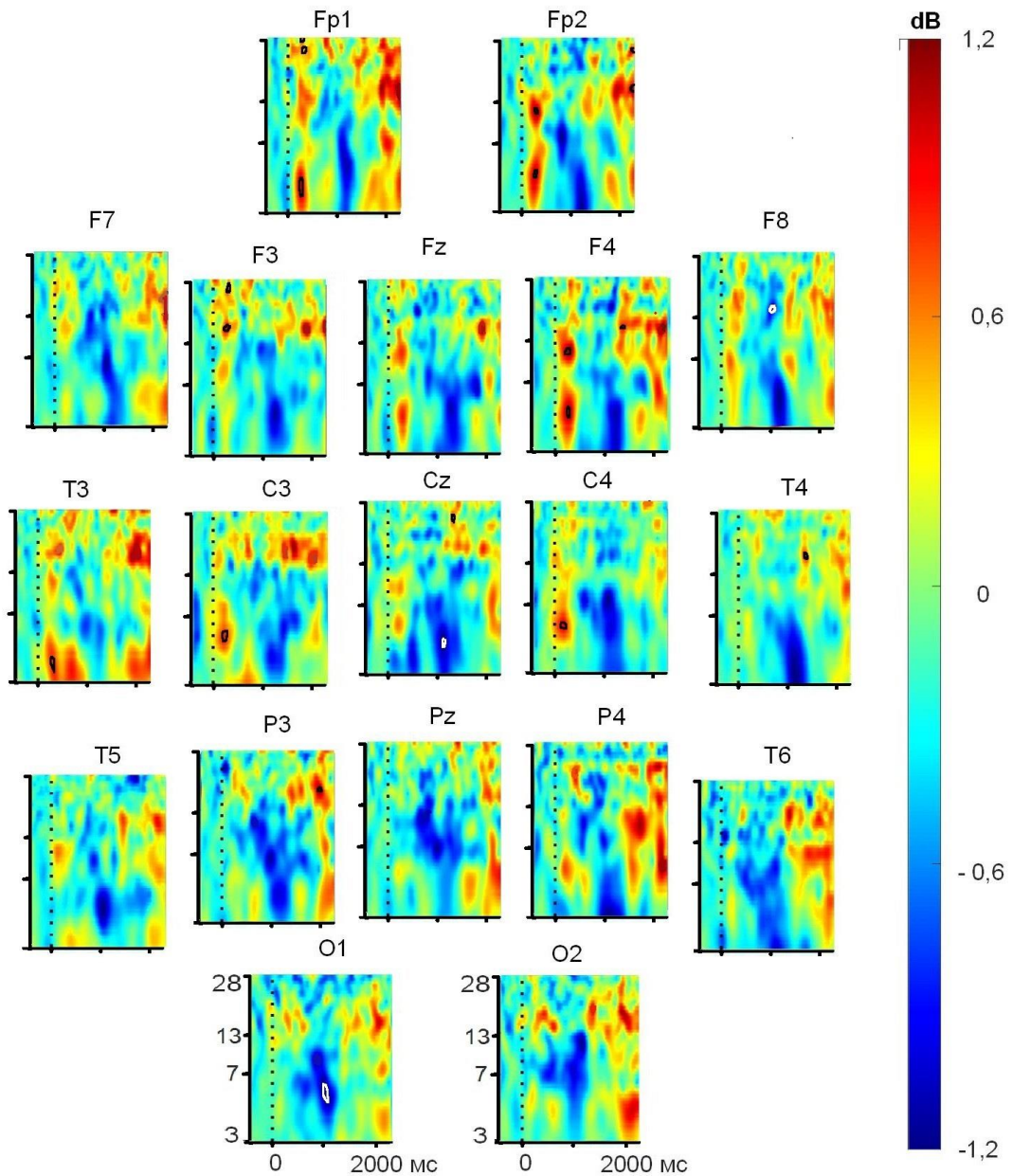


Рис. 3.5 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 4-10 лет во время прослушивания глаголов.

Обозначения как на рис. 3.1

Таблица 3.3 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически значимые связанные с прослушиванием глаголов спектральные пертурбации в группе детей 4-10 лет

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	Fp1 (307-400), Fp2 (323-397), F4 (307-400), C3 (307-367), C4 (307-367), T3 (307-400)
Десинхронизация тета-активности	Cz (1249-1308), O1 (1102-1264)
Синхронизация альфа-активности	Fp2 (307-400), F4 (307-400)
Десинхронизация бета-активности	F8 (1102-1205)
Синхронизация бета-активности	Fp1 (323-400), F3 (307-400), F4 (1470-1499), Cz (1425-1499), T4 (1470-1499)

3.2.2. Возрастные особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей во время слухового восприятия глаголов

Дисперсионный анализ с повторными измерениями в группе типично развивающихся детей 4-6 лет выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 485-911 мс, 999-1396 мс. Результаты апостериорного анализа для группы детей 4-6 лет представлены на рис. 3.6 и в таблице 3.4.

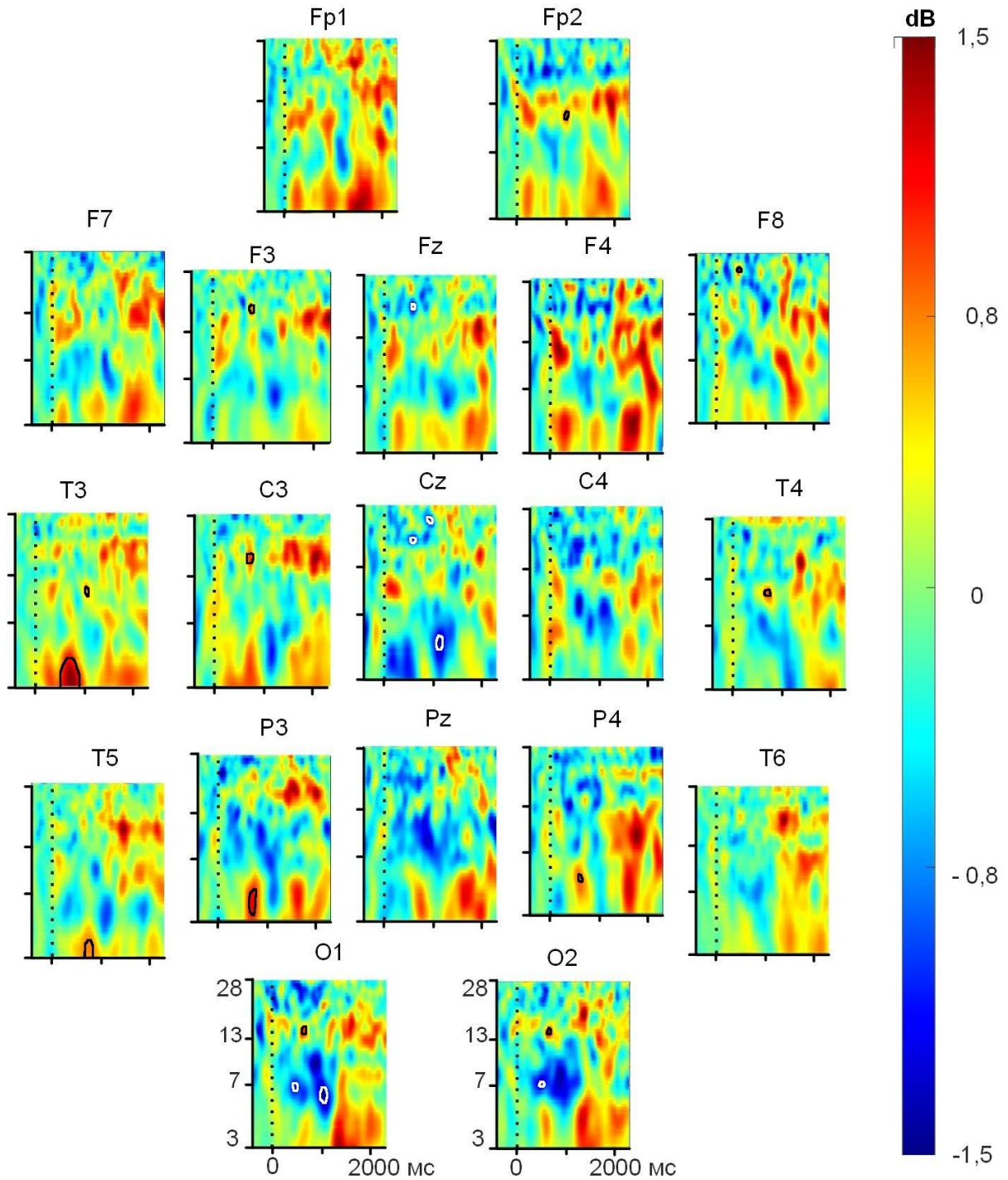


Рис. 3.6 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 4-6 лет во время прослушивания глаголов.

Обозначения как на рис. 3.1

Таблица 3.4 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически значимые связанные с прослушиванием глаголов спектральные пертурбации в группе детей 4-10 лет

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	P3 (705-867), P4 (646-779), T3 (602-911), T5 (779-911)
Десинхронизации тета-активности	Cz (1220-1396), O1 (514-676, 1117-1323), O2 (602-720)
Синхронизация альфа-активности	Fp2 (1073-1190), T3 (1176-1234), T4 (764-896)
Синхронизация бета-активности	F3 (808-911), F8 (529-573), C3 (720-911), O1 (690-852), O2 (720-779)
Десинхронизация бета-активности	Fz (617-720), Cz (617-690, 1014-1117)

Анализ СССП в группе типично развивающихся детей 7-10 лет выявил увеличение и последующее снижение мощности колебаний в диапазоне тета-активности ЭЭГ, обширную десинхронизацию альфа-активности (рис 3.7).

Дисперсионный анализ с повторными измерениями в группе типично развивающихся детей 7-10 лет не выявил значимого влияния взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА.

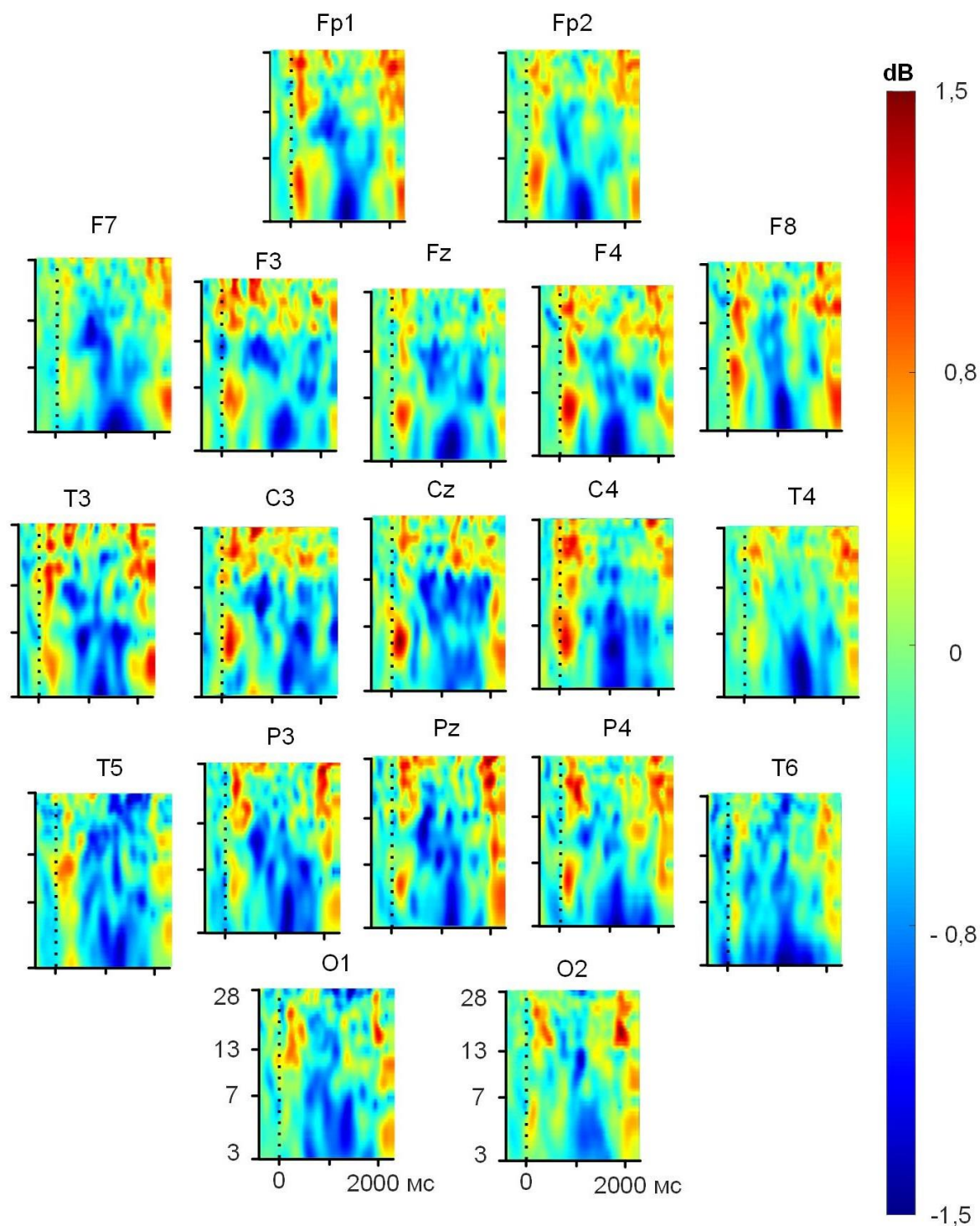


Рис. 3.7 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 7-10 лет во время прослушивания глаголов.

Обозначения как на рис. 3.1

Выявлены значимые различия во время восприятия глаголов в группах детей дошкольного и младшего школьного возраста (рис. 3.8).

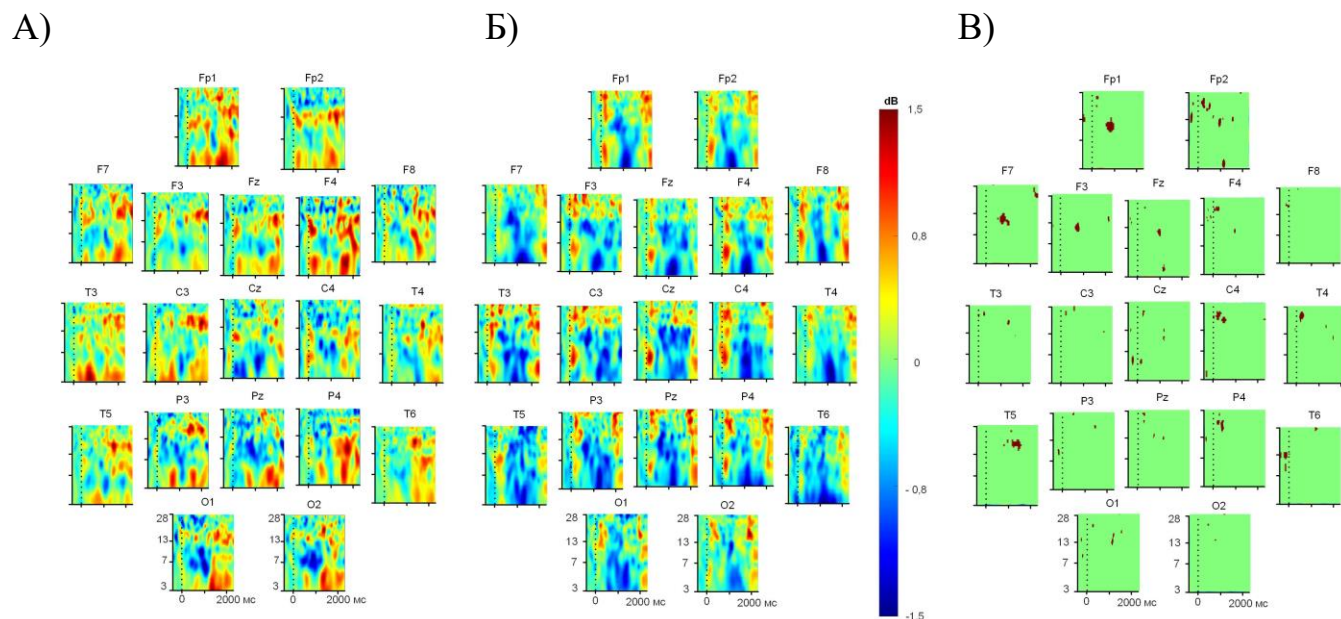


Рис. 3.8 – Сравнение СССП во время прослушивания глаголов в типично развивающихся детей 4-6 лет (А), 7-10 лет (Б), межгрупповые различия при $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.1

В группе детей дошкольного возраста выявлена более выраженная по сравнению с детьми школьного возраста тета- и альфа-синхронизация в лобных и центральных зонах, менее выраженная бета-синхронизация в лобных зонах.

3.3. Частотно-временные характеристики ЭЭГ типично развивающихся разного возраста детей во время слухового восприятия псевдослов

3.3.1. Реактивность ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей 4-10 лет во время слухового восприятия псевдослов

Анализ СССП в группе типично развивающихся детей 4-10 лет показал многократное увеличение мощности колебаний в диапазоне тета-активности ЭЭГ в центральных, теменных и височных отведениях и обширную синхронизацию бета-активности (рис. 3.9).

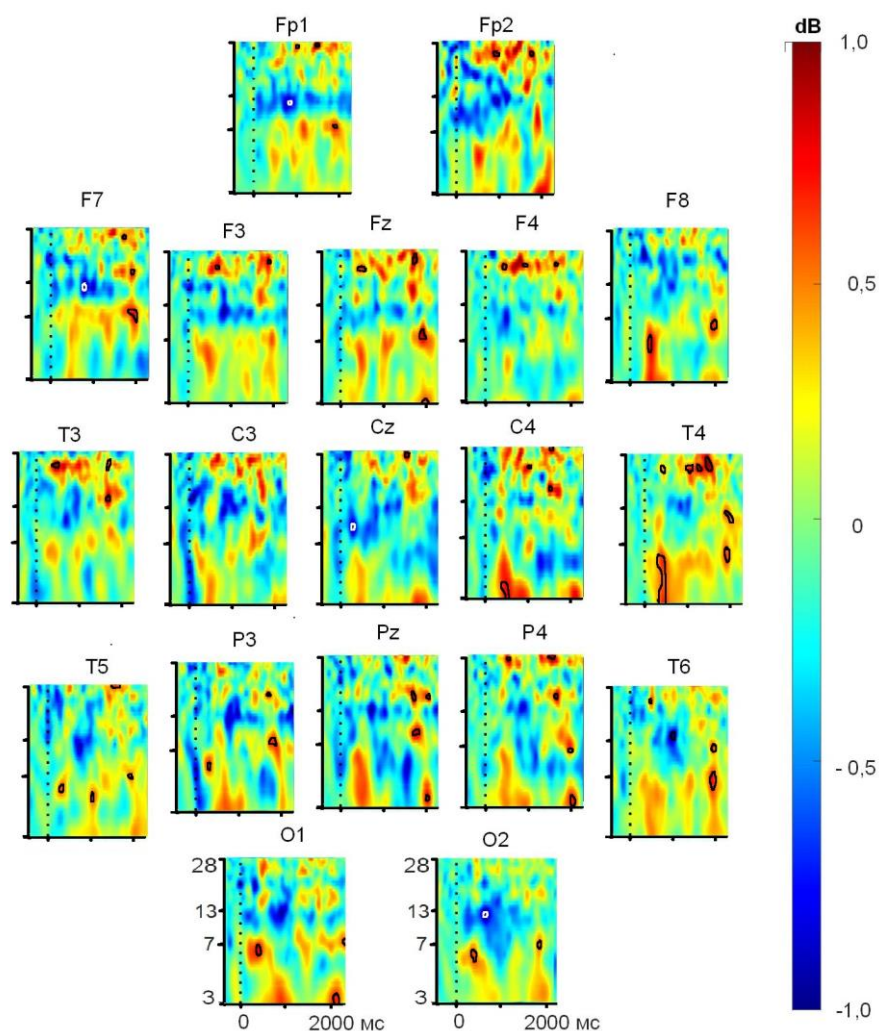


Рис. 3.9 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 4-10 лет во время прослушивания псевдослов.

Обозначения как на рис. 3.1

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.

Результаты апостериорного анализа представлен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически значимые связанные с прослушиванием псевдослов спектральные пертурбации в группе детей 4-10 лет

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	Fp1 (2043-2234), F7 (1911-2205), F8 (470-588, 2057-2278), C4 (441-588), Fz (2058-2249), Pz (2249-2307), P3 (352-470), P4 (2087-2352), T4 (367-588, 2058-2205), T5 (352-499, 1131-1190, 2058-2146), T6 (2028-2205), O1 (352-588, 2146-2396), O1 (352-588, 2116-2205)
Синхронизация альфа-активности	Fz (2058-2249), Pz (1808-2058), P3 (1837-2146), T4 (2058-2293), T6 (2028-2205)
Десинхронизация альфа-активности	Fp1 (808-940), F7 (852-940), Cz (352-441), O2 (764-940)
Синхронизация бета-активности	Fp1 (1234-1425, 1617-1778), Fp2 (1102-1190, 1911-2043), Fz (441-588, 1793-2058), F3 (764-940, 1999-2072), F4 (367-588, 1102-1190, 1764-1896), F7 (1881-2205), Cz (1617-1778), C4 (1234-1425, 1602-1793), Pz (1808-1984, 2131-2293), P3 (1793-1940), P4 (485-588, 1587-2028), T3 (411-588, 1764-1911), T4 (1102-1190, 1234-1425, 1514-1837), T5 (1646-1852)

3.3.2. Возрастные особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей во время слухового восприятия псевдослов

В группе детей 4-6 лет дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 14-147, 499-662, 926-1103 мс. Результаты апостериорного анализа для группы детей 4-6 лет представлены в таблице 3.6 и на рис. 3.10.

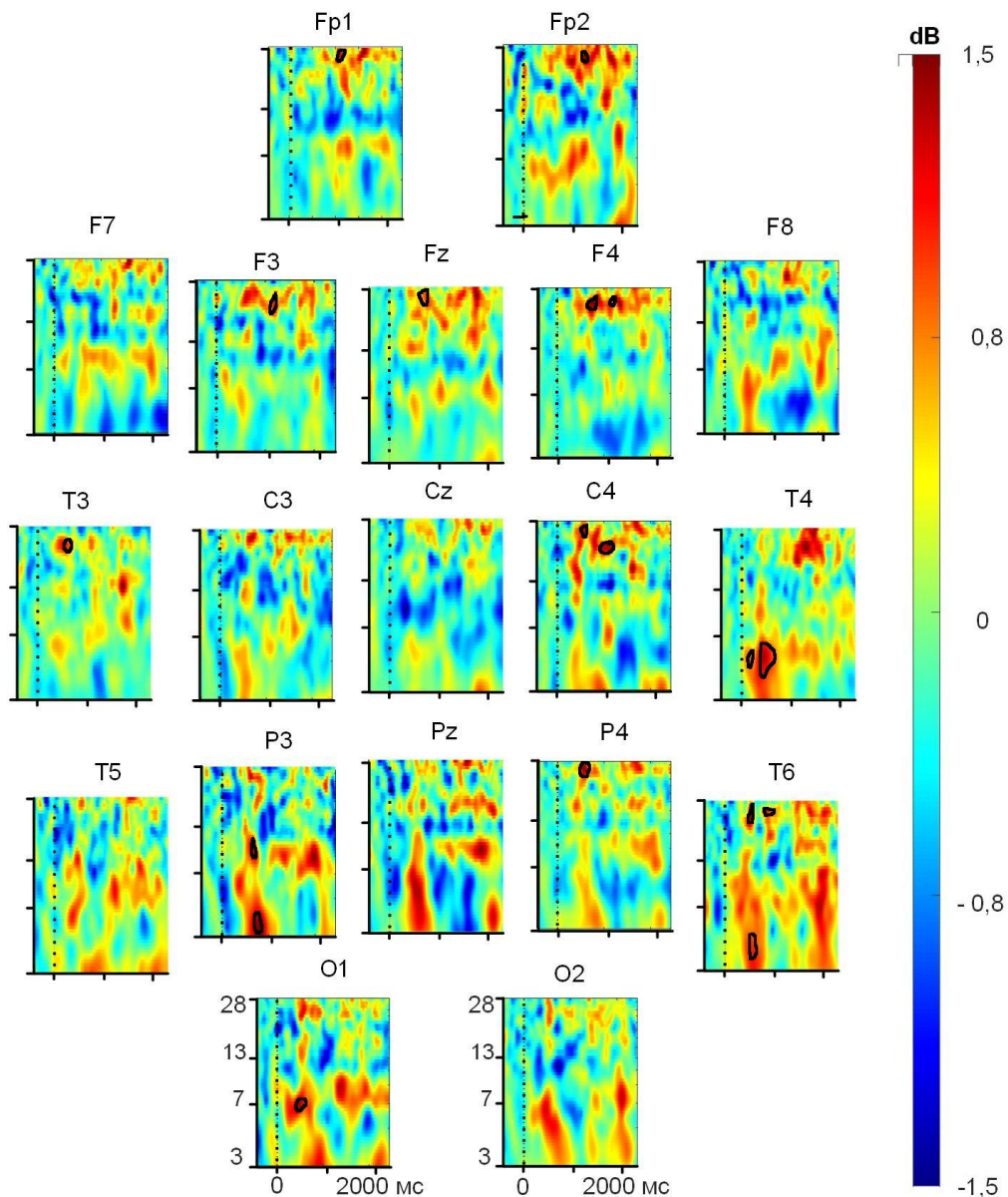


Рис. 3.10 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 4-6 лет во время прослушивания псевдослов.

Обозначения как на рис. 3.1

Таблица 3.6 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически значимые связанные с прослушиванием псевдослов спектральные пертурбации в группе детей 4-6 лет

		Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация активности	тета-	P3 (499-662), T4 (132-147, 499-749), T6 (499-662), O1 (499-632),
Синхронизации активности	альфа-	P3 (558-662)
Синхронизация активности	бета-	Fp1 (1029-1103), Fp2 (1014-1103), Fz (499-720), F3 (926-1014), F4 (499-617, 1058-1103), C4 (499-573, 999-1103), P4 (499-662), T3 (499-662), T6 (499-662, 926-1043),

В группе детей 7-10 лет дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 379-540 мс, 1576-1708 мс.

Результаты апостериорного анализа для группы детей 7-10 лет представлен в таблице 3.7 и на рис. 3.11.

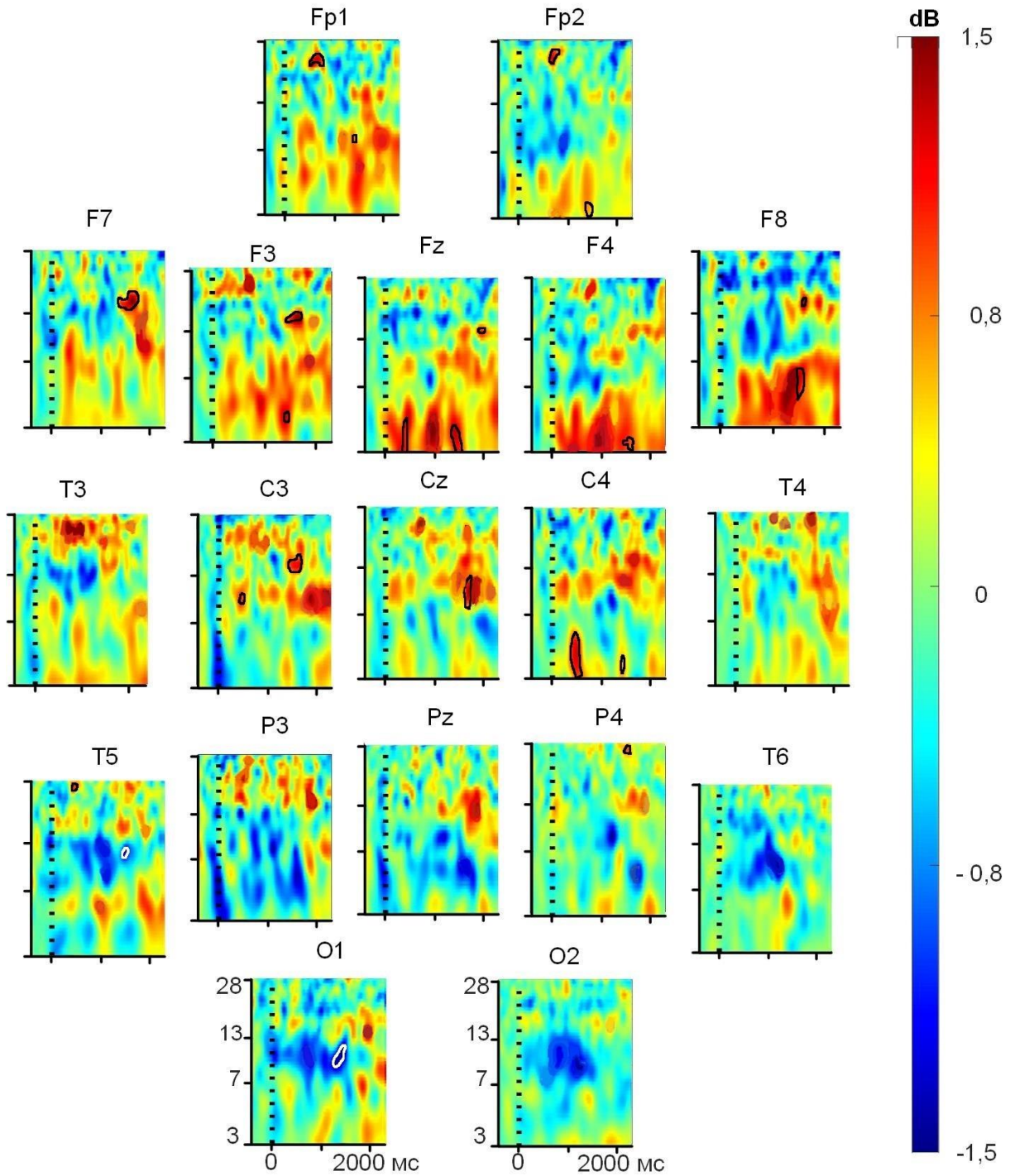


Рис. 3.11 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 7-10 лет во время прослушивания псевдослов

Обозначения как на рис. 3.1

Таблица 3.7 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически значимые связанные с прослушиванием псевдослов спектральные пертурбации в группе детей 7-10 лет

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	Fp2 (1617-1734), F3 (1576-1661), F4 (1576-1708), F8 (1576-1708), Fz (514-540, 1576-1708), C4 (514-540, 1587-1675)
Синхронизации альфа-активности	Fp1 (1576-1631), Cz (1587-1708), C3 (514-540)
Десинхронизации альфа-активности	T5 (1646-1708), O1 (1576-1708)
Синхронизация бета-активности	Fp1 (617-926), Fp2 (779-926), F3 (1576-1708), F8 (1778-1881), C3 (1587-1708), P4 (1602-1708), T5 (529-540)

Выявлены значимые различия в реактивности тета-ритма во время слухового восприятия псевдослов в группах детей дошкольного и младшего школьного возраста (рис. 3.12).

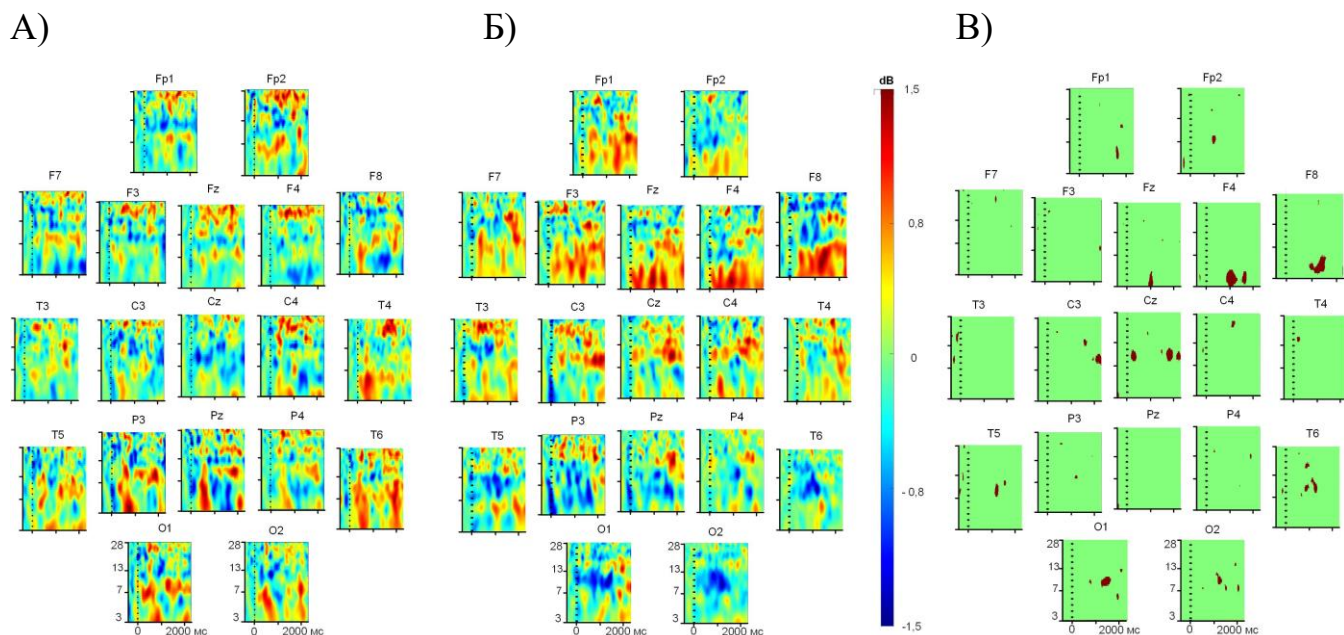


Рис. 3.12 – Сравнение СССП во время прослушивания псевдослов в группе типично развивающихся детей 4-6 лет (А), 7-10 лет (Б), межгрупповые различия при $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.1

3.4. Частотно-временные характеристики ЭЭГ типично развивающихся детей разного возраста во время слухового восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях

3.4.1. Реактивность ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей 4-10 лет во время слухового восприятия глаголов в правильных предложениях

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 (рис. 3.13, таблица 3.8). Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 459-599 мс, 927-1359 мс.

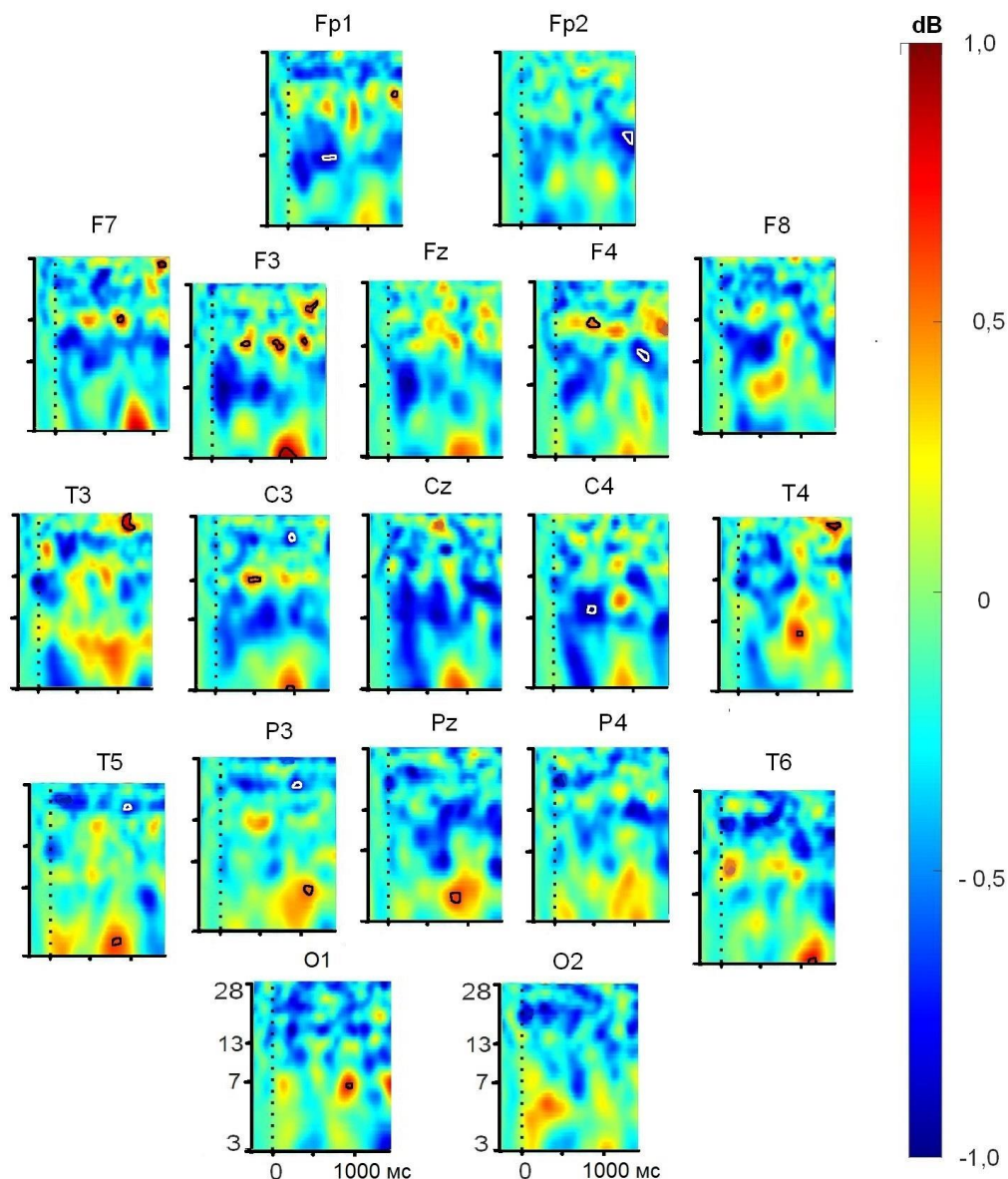


Рис. 3.13 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 4-10 лет во время прослушивания глаголов в правильных по смыслу предложениях. Каждый фрагмент рисунка соответствует временному промежутку от -300 до 1500 мс от начала стимула и диапазону частот от 3 до 28 Гц. Замкнутыми белыми линиями выделены участки графика со статистически значимыми снижением, черными – повышением мощности ЭЭГ относительно предстимульного интервала ($p < 0,01$). Шкала в правой части рисунка отражает логарифм отношения мощностей постстимульной и предстимульной ЭЭГ в дБ.

Результаты апостериорного анализа представлен в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически изменения ЭЭГ во время восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях в группе детей 4-10 лет.

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	F3 (899-1155), C3 (988-1049), Pz (864-979), P3 (1076-1217), T4 (802-873), T5 (899-935), T6 (1173-1235), O1 (908-988)
Десинхронизация альфа-активности	Fp1 (423-599), Fp2 (1279-1359), F4 (1102-1252), C4 (423-573)
Синхронизация бета-активности	Fp1 (1384-1359), F3 (423-511, 899-970, 1181-1359), F4 (423-573), F7 (899-926, 1331-1359), C3 (423-582), T3 (1129-1252), T4 (1076-1305)
Десинхронизация бета-активности	C3 (988-1049), P3 (899-1067), T5 (979-1058)

3.4.2. Возрастные особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей во время слухового восприятия глаголов в правильных предложениях

В группе типично развивающихся детей 4-6 лет при слуховом восприятии глаголов в правильных по смыслу предложениях регистрировалась синхронизация тета-активности в лобных, центральных, теменных и височных отведениях (рис. 3.14, таблица 3.9). Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 882-1094 мс.

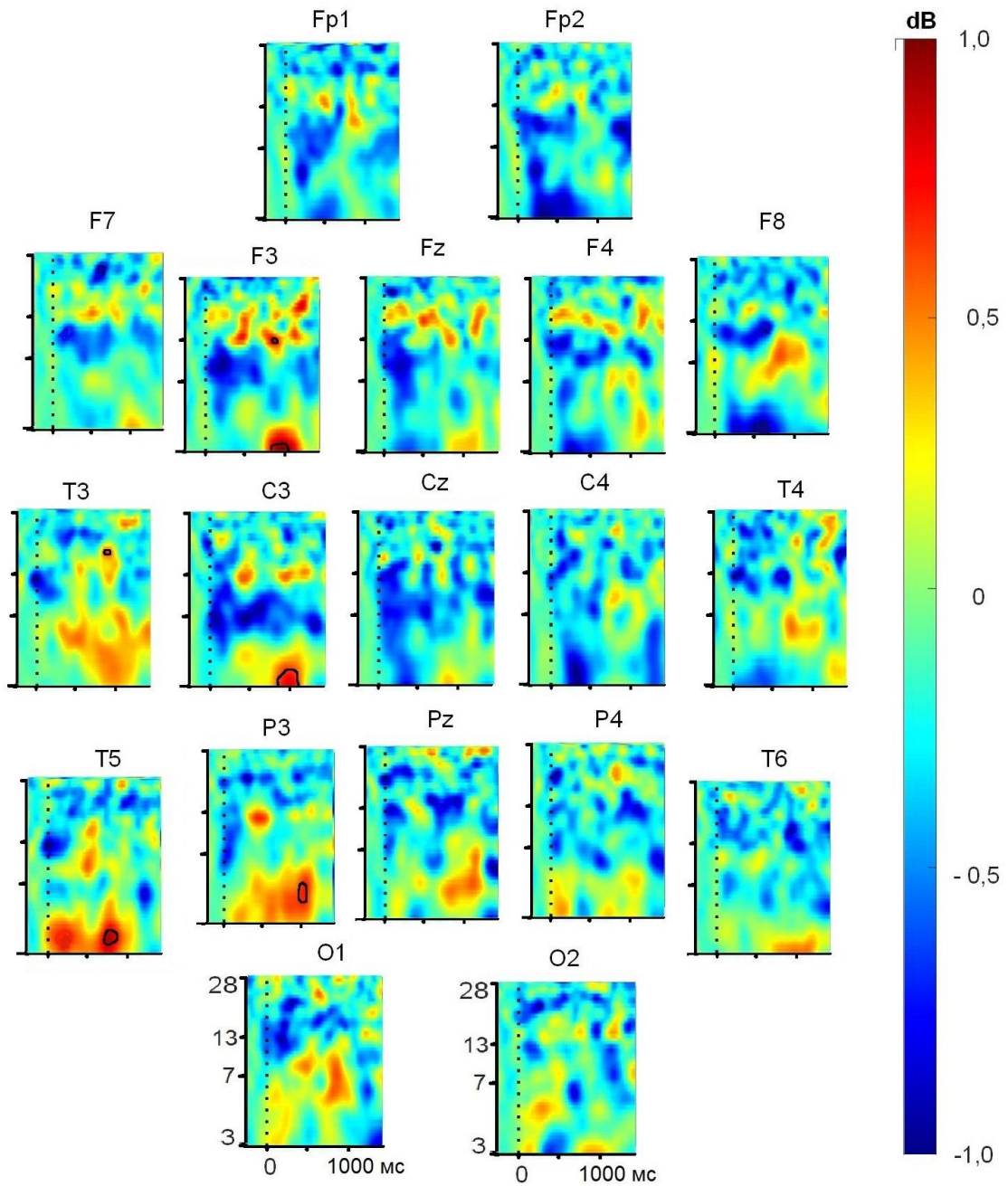


Рис. 3.14 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 4-6 лет во время прослушивания глаголов в правильных по смыслу предложениях. Обозначения как на рис. 3.13

Результаты апостериорного анализа представлен в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически значимые изменения ЭЭГ во время восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях в группе детей 4-6 лет

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	F3 (935-1094), C3 (1005-1094), P3 (1058-1094), T5 (882-944)
Синхронизация бета-активности	F3 (882-935), T3 (882-988)

Реактивность ЭЭГ в группе типично развивающихся детей 7-10 лет при слуховом восприятии глаголов в правильном по смыслу предложении представлена на рис. 3.15. Дисперсионный анализ с повторными измерениями не выявил значимого влияния взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА.

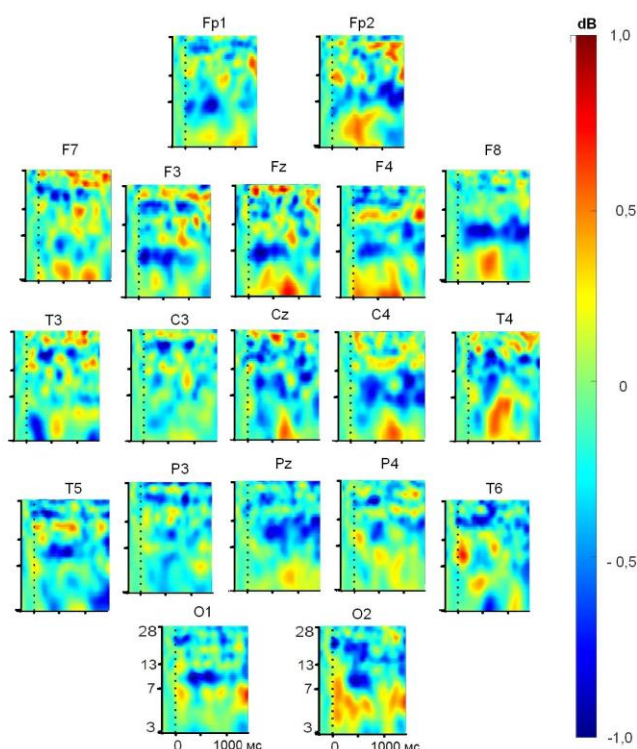


Рис. 3.15 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 7-10 лет во время прослушивания глаголов в правильных по смыслу предложениях. Обозначения как на рис. 3.13

Выявлены значимые различия в реактивности ЭЭГ во время восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях в группах детей дошкольного и младшего школьного возраста (рис. 3.16).

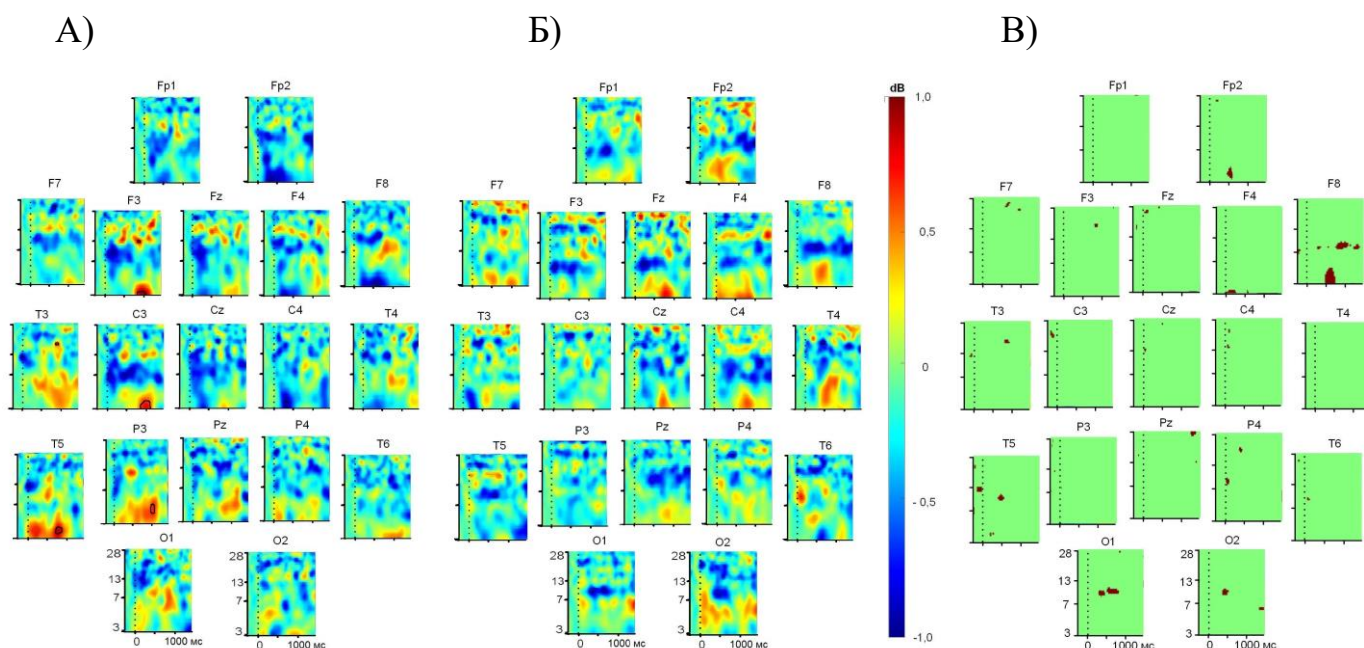


Рис. 3.16 – Сравнение СССП во время прослушивания глаголов в правильных по смыслу предложениях в группе типично развивающихся детей 4-6 лет (А), 7-10 лет (Б), межгрупповые различия при $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.13

3.5. Частотно-временные характеристики ЭЭГ типично развивающихся детей разного возраста во время слухового восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях

3.5.1. Реактивность ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей 4-10 лет во время слухового восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях

В группе типично развивающихся детей 4-10 лет при слуховом восприятии глаголов в неправильных по смыслу предложениях регистрировалась

синхронизация тета-активности во всех отведениях, наиболее выраженная в локусе С3, а также альфа- и бета-десинхронизация в большинстве отведений (рис. 3.17, таблица 3.10). Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 8-352 мс, 554-1438 мс.

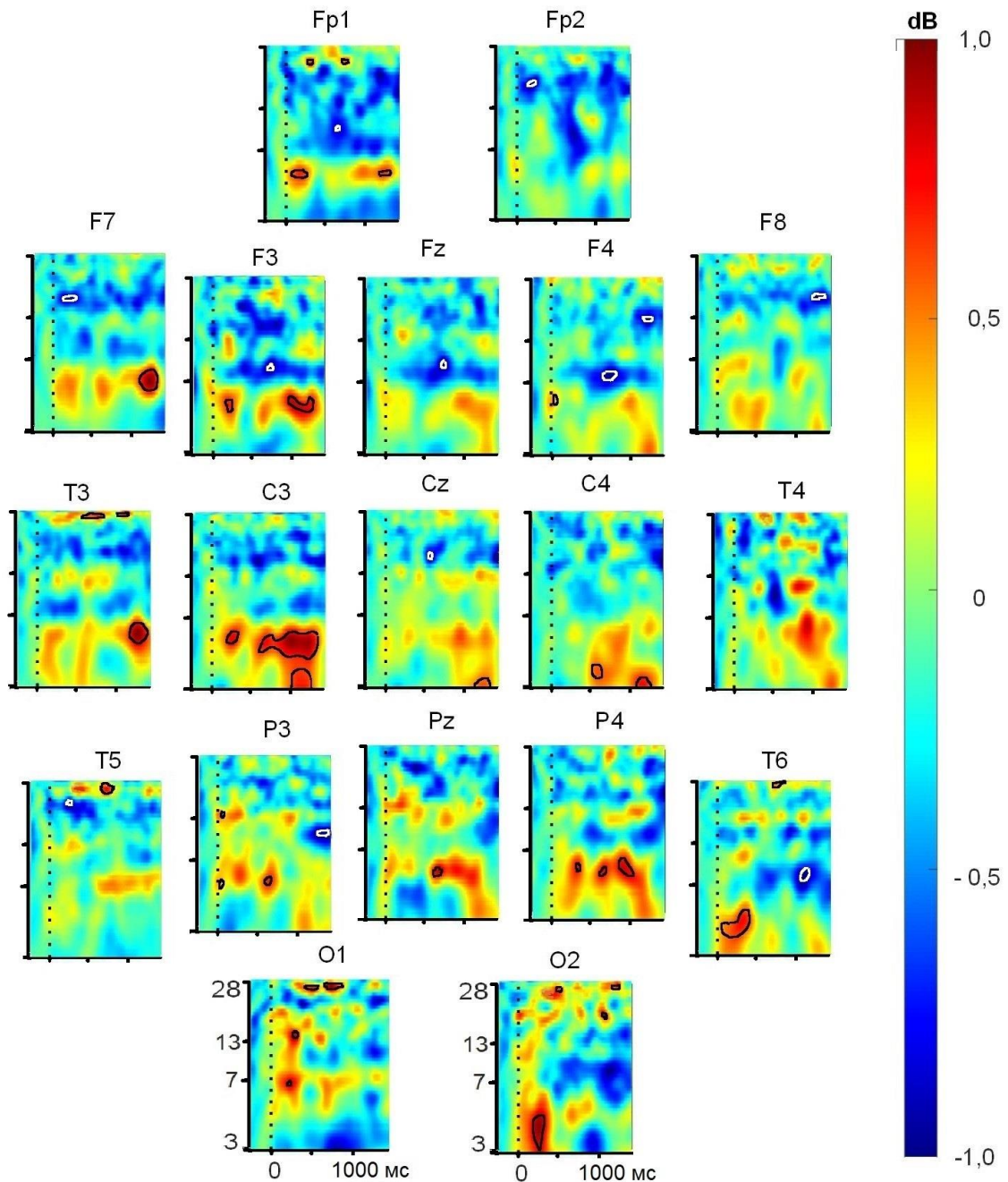


Рис. 3.17 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 4-10 лет во время прослушивания глаголов в неправильных по смыслу предложениях. Обозначения как на рис. 3.13

Результаты апостериорного анализа представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически значимые изменения ЭЭГ во время восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группе детей 4-10 лет

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	Fp1 (79-290, 1249-1381), F3 (174-290, 985-1408), F4 (8-88), F7 (1161-1425), Cz (1188-1373), C3 (184-352, 616-1408), C4 (554-712, 1126-1337), Pz (635-794), P3 (8-35, 626-732), P4 (335-352, 617-723, 882-1217), T3 (1243-1438), T6 (8-352) O1 (256-308), O2 (203-352)
Десинхронизация альфа-активности	Fp1 (670-714), Fz (740-794), F3 (749-882), F4 (688-882), F7 (88-282), F8 (1243-1438), P3 (1279-1438), T6 (1058-1235)
Синхронизация бета-активности	Fp1 (283-352, 732-864), P3 (8-88), T3 (626-926, 1881-1261), T5 (706-864), T6 (714-979), O1 (265-352, 554-617, 706-899), O2 (554-590, 1102-1181, 1270-1376)
Десинхронизация бета-активности	Fp2 (106-317), F4 (1217-1367), T5 (220-335), Cz (573-661)

Результат сравнения реакций ЭЭГ во время слухового восприятия глаголов в правильных (А) и неправильных (Б) предложений представлен на рис. 3.18.

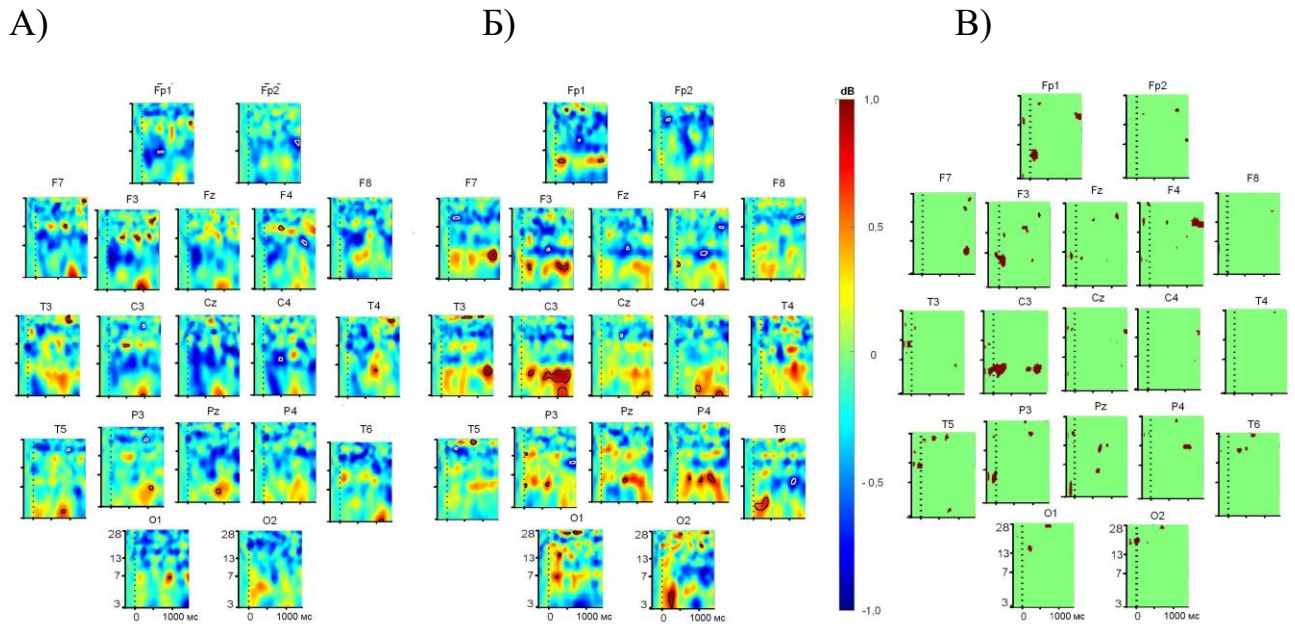


Рис. 3.18 Сравнение СССП у типично развивающихся детей 4-10 лет во время прослушивания глаголов в правильных по смыслу предложениях (А), неправильных по смыслу предложениях (Б), межгрупповые различия при $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.13

3.5.2. Возрастные особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей во время слухового восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях

Анализ СССП в группе типично развивающихся детей 4-6 лет показал многократное увеличение мощности колебаний в диапазоне тета-активности ЭЭГ, наиболее выраженное в локусе Р4 (рис 3.19). Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 8-53 мс, 1102-1261 мс.

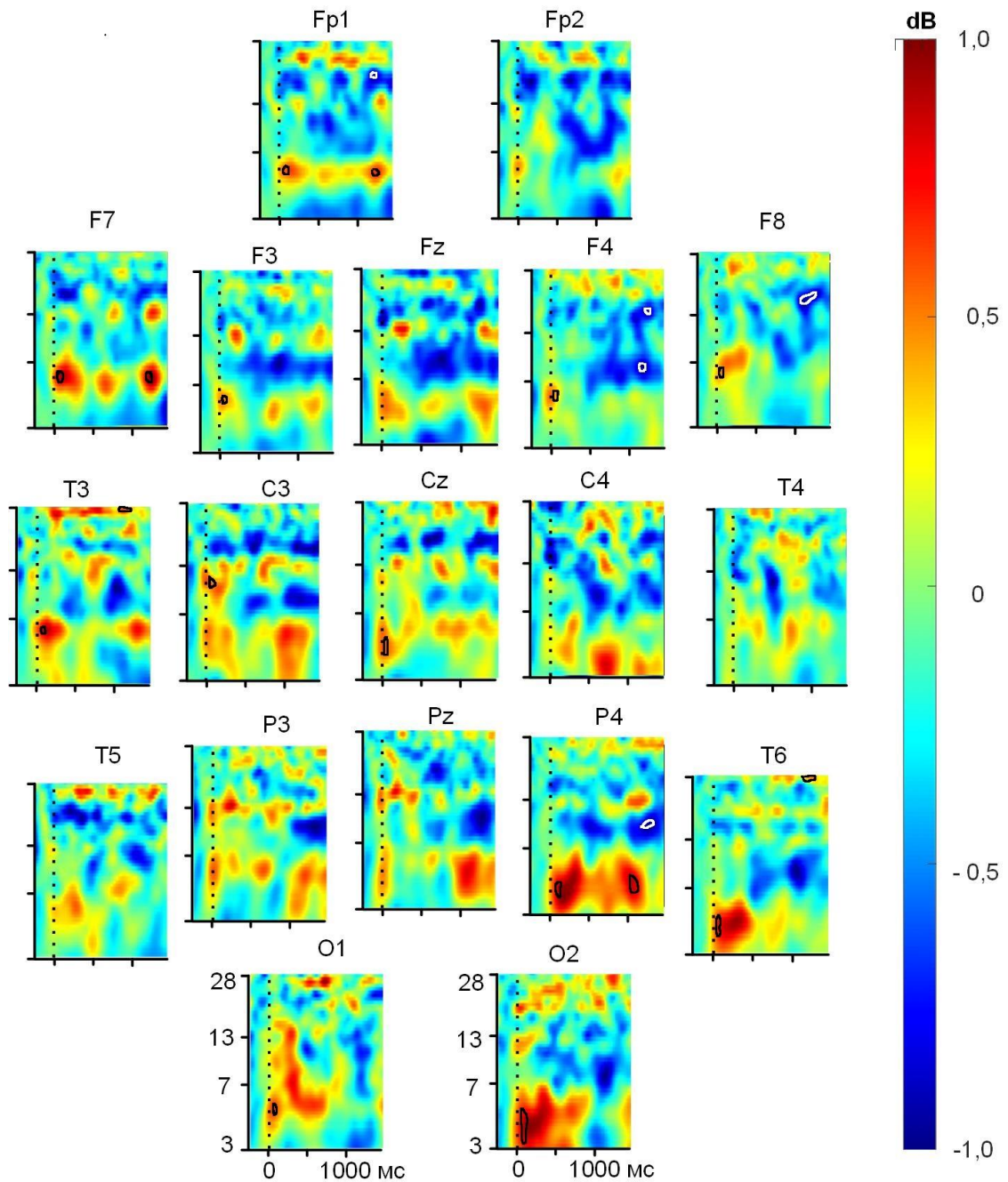


Рис. 3.19 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 4-6 лет во время прослушивания глаголов в неправильных по смыслу предложениях

Результаты апостериорного анализа представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически изменения ЭЭГ во время восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группе детей 4-6 лет

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	Fp1 (8-53, 1235-1261), F3 (8-53), F4 (8-53), F7 (8-53, 1191-1261), Cz (8-53), F8 (8-53), P4 (8-53, 1102-1226), T3 (8-53), T6 (8-53), O1 (8-53), O2 (8-53)
Синхронизация альфа-активности	C3 (8-53)
Десинхронизация альфа-активности	F4 (1129-1261), P4 (1102-1252)
Синхронизация бета-активности	T3 (1147-1252), T6 (1191-1261)
Десинхронизация бета-активности	Fp1 (1200-1261), F4 (1226-1261), F8 (1102-1261)

Анализ СССП в группе типично развивающихся детей 7-10 лет показал многократное увеличение мощности колебаний в диапазоне тета-активности ЭЭГ, наиболее выраженное в локусе С3 (рис. 3.20). Дисперсионный анализ с повторными измерениями не выявил значимого влияния взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 379-538, 961-1094, 1314-1500 мс.

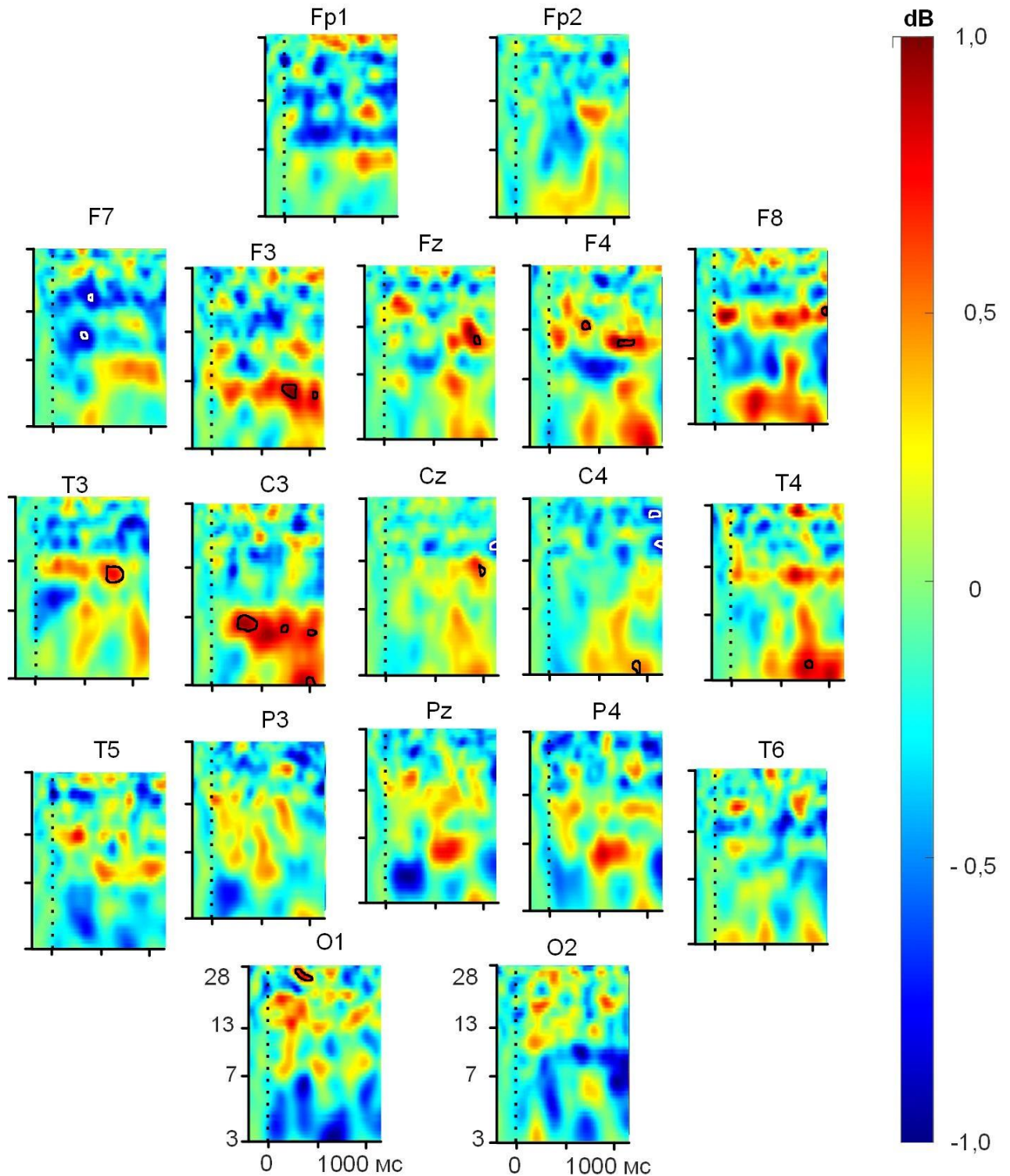


Рис. 3.20 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 7-10 лет во время прослушивания глаголов в неправильных по смыслу предложениях. Обозначения как на рис. 3.13

Результаты апостериорного анализа представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически изменения ЭЭГ во время восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группе детей 7-10 лет

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	F3 (988-1094, 1367-1429), C3 (379-538, 1014-1085, 1314-1411), C4 (1058-1094), T4 (961-1014)
Синхронизация альфа-активности	Fz (1314-1367), F4 (961-1094), Cz (1314-1349), T3 (961-1094)
Десинхронизация альфа-активности	F7 (397-485)
Синхронизация бета-активности	F4 (423-538), F8 (1446-1500), O1 (379-538)
Десинхронизация бета-активности	Cz (1411-1500), C4 (1314-1500), F7 (485-538)

Выявлены значимые различия в реактивности ЭЭГ во время восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группах детей дошкольного и младшего школьного возраста (рис. 3.21).

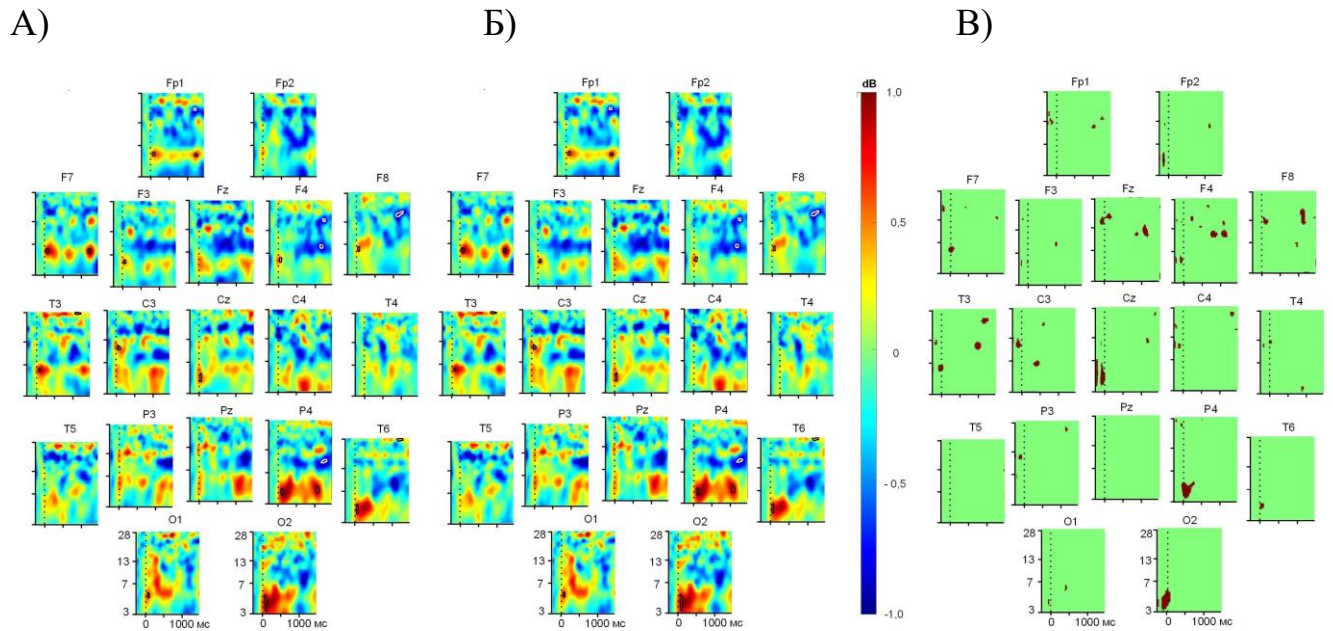


Рис. 3.21 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации время прослушивания глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группе типично развивающихся детей 4-6 лет (А), 7-10 лет (Б), межгрупповые различия, $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.13

3.6. Частотно-временные характеристики ЭЭГ типично развивающихся детей разного возраста во время слухового восприятия псевдослов в предложениях

3.6.1. Реактивность ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей 4-10 лет во время слухового восприятия псевдослов в предложениях

В группе типично развивающихся детей 4-10 лет при слуховом восприятии псевдослов в предложениях регистрировались разнородные реакции ЭЭГ (рис. 3.22). Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временного промежутка 961-1235 мс. Результаты апостериорного анализа представлены на рис. 3.22 и в таблице 3.13.

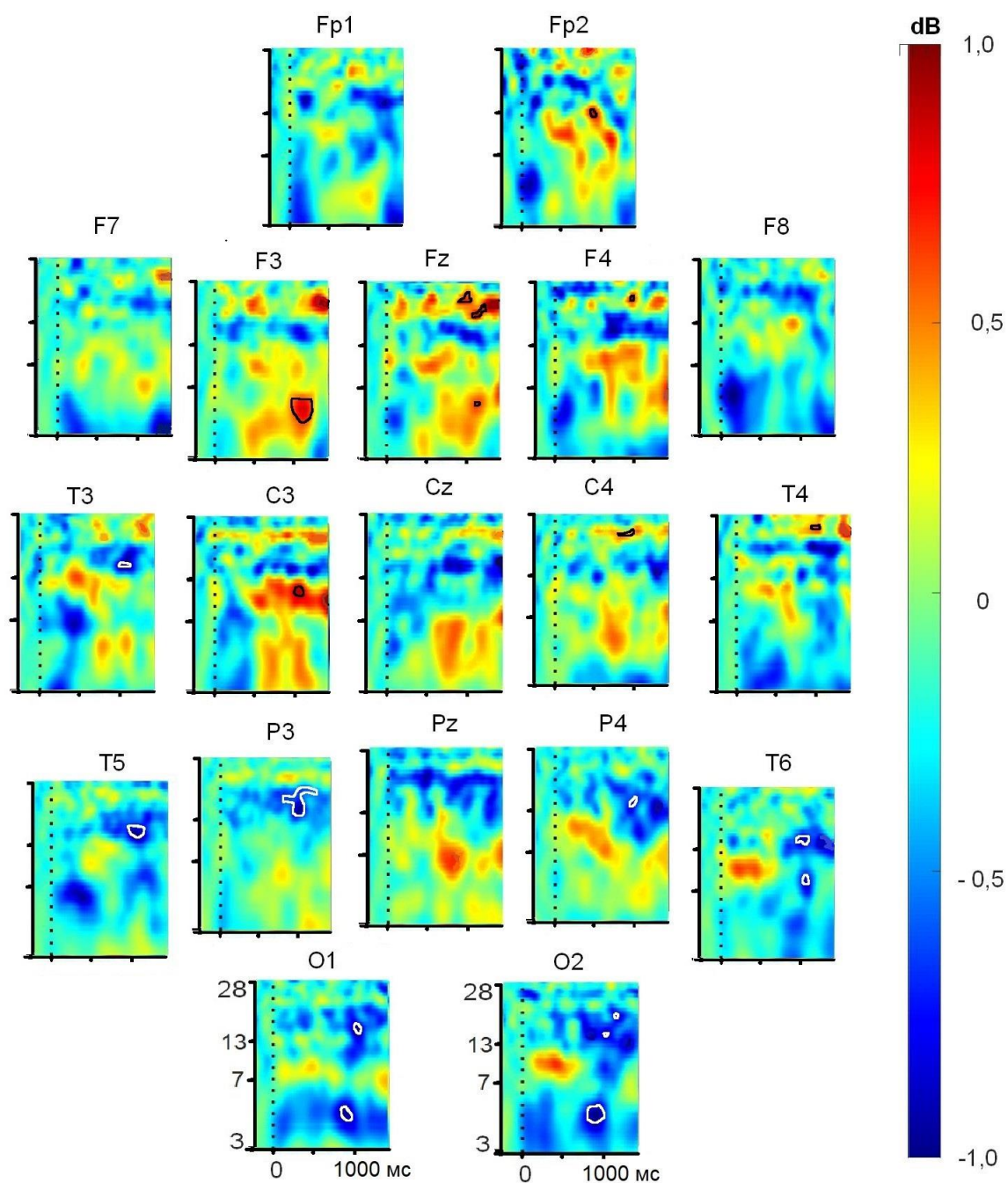


Рис. 3.22 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 4-10 лет во время прослушивания псевдослов в предложении. Обозначения как на рис. 3.13

Таблица 3.13 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически изменения ЭЭГ во время восприятия псевдослов в предложениях в группе детей 4-10 лет

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	F3 (1041- 1235), Fz (1191-1235)
Десинхронизация тета-активности	O1 (961-1058), O2 (961-1103)
Синхронизация альфа-активности	Fp2 (961-1014), C3 (1014-1200)
Десинхронизация альфа-активности	T6 (1103-1191)
Синхронизация бета-активности	F4 (1014-1067), C4 (961-970), T4 (997-1103), Fz (970-1235),
Десинхронизация бета-активности	P3 (961-1235), P4 (970-1138), T3 (1050-1226), O1 (1050-1217), O2 (1050-1147, 1217-1228), T5 (970-1235), T6 (988-1208)

Результат сравнения реакций ЭЭГ во время слухового восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях (А) и псевдослов в предложении (Б) в группе типично развивающихся детей представлен на рис. 3.23.

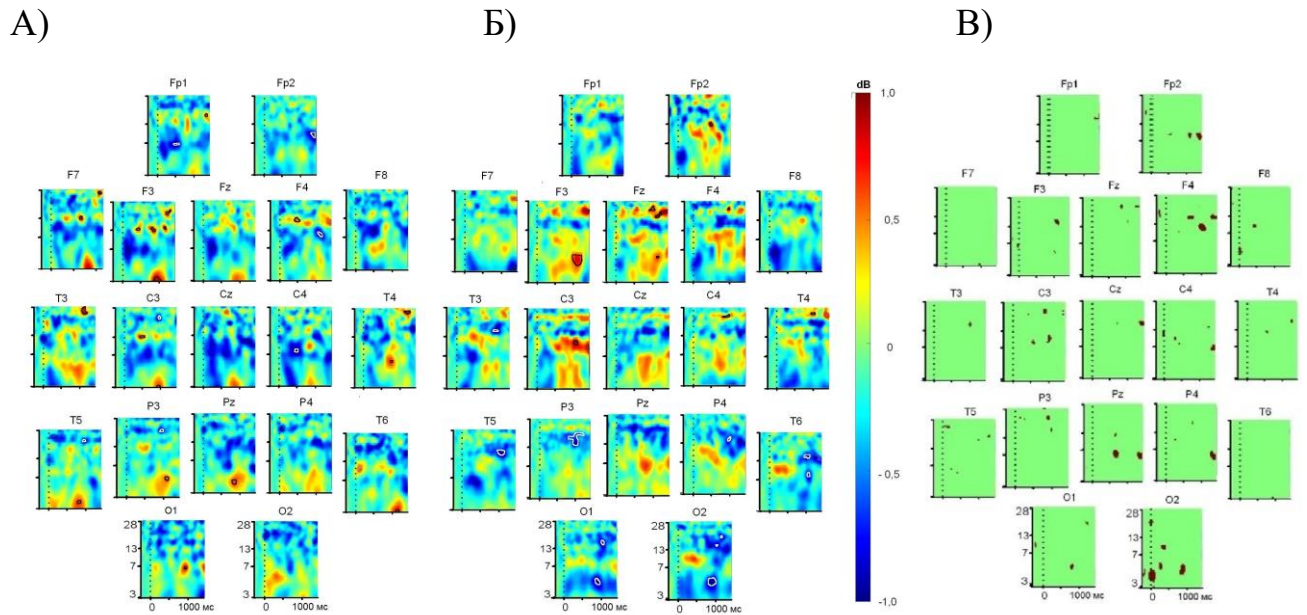


Рис. 3.23 – Сравнение СССП у типично развивающихся детей 4-10 лет во время прослушивания глаголов в правильных по смыслу предложениях (А), псевдослов в предложениях (Б), межгрупповые различия при $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.13

3.6.2. Возрастные особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся во время слухового восприятия псевдослов в предложениях

Анализ СССП во время слухового восприятия псевдослов в предложении в группе типично развивающихся детей 4-6 лет выявил изменения ЭЭГ, достигающие уровня статистической значимости только для временного промежутка 1482-1500 мс (рис. 3.24). Результаты апостериорного анализа представлены в таблице 3.14.

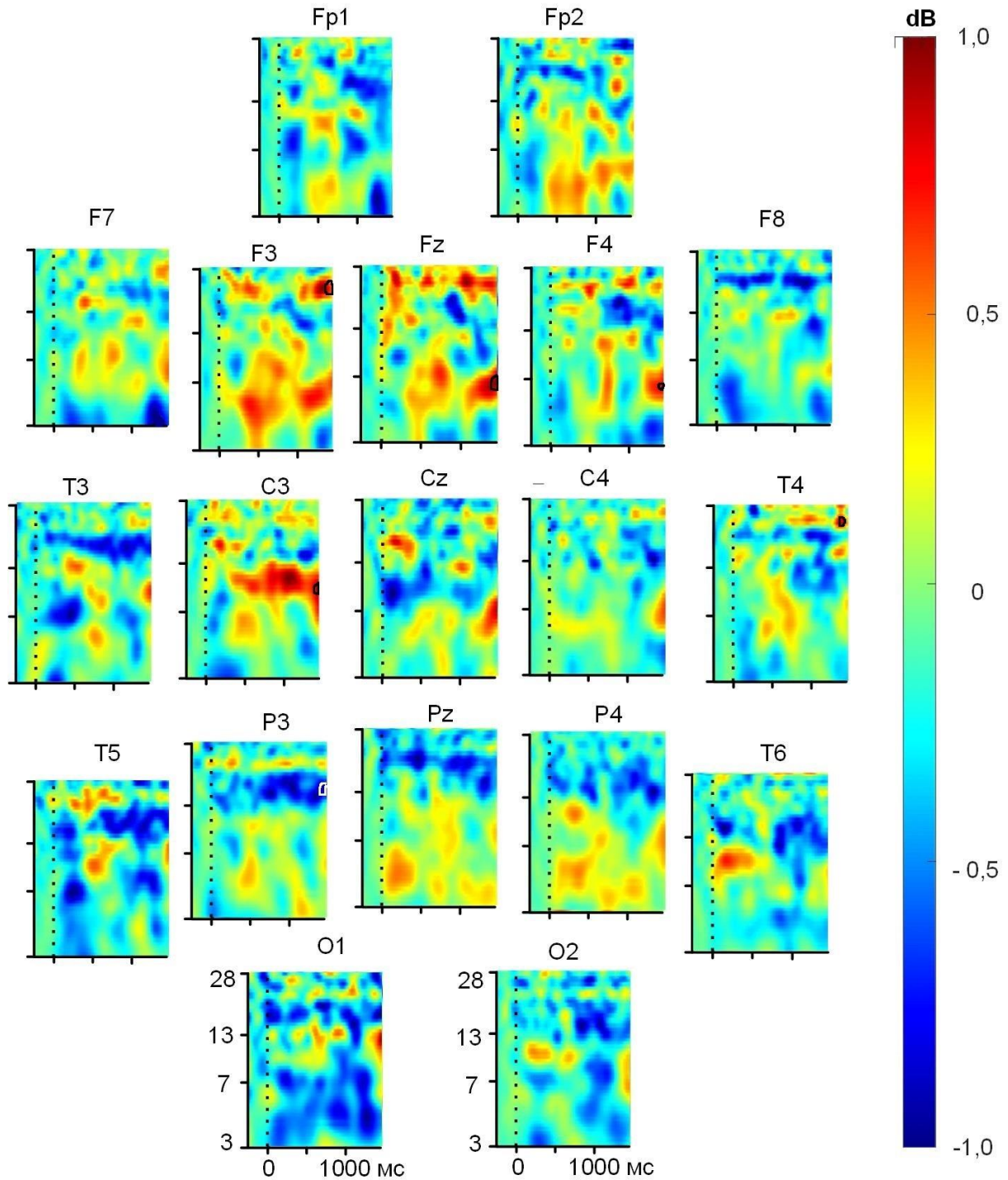


Рис. 3.24 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 4-6 лет во время прослушивания псевдослов в правильных по смыслу предложениях. Обозначения как на рис. 3.13

Таблица 3.14 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически изменения ЭЭГ во время восприятия псевдослов в предложениях в группе детей 4-6 лет

Изменение ЭЭГ	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	Fz (1482-1500)
Синхронизация альфа-активности	C3 (1482-1500)
Синхронизация бета-активности	F3 (1482-1500), F4 (1482-1500), T4 (1482-1491)
Десинхронизация бета-активности	P3 (1482-1500)

В группе типично развивающихся детей 7-10 лет изменения ЭЭГ во время восприятия псевдослов в предложении не достигли уровня статистической значимости (рис. 3.25).

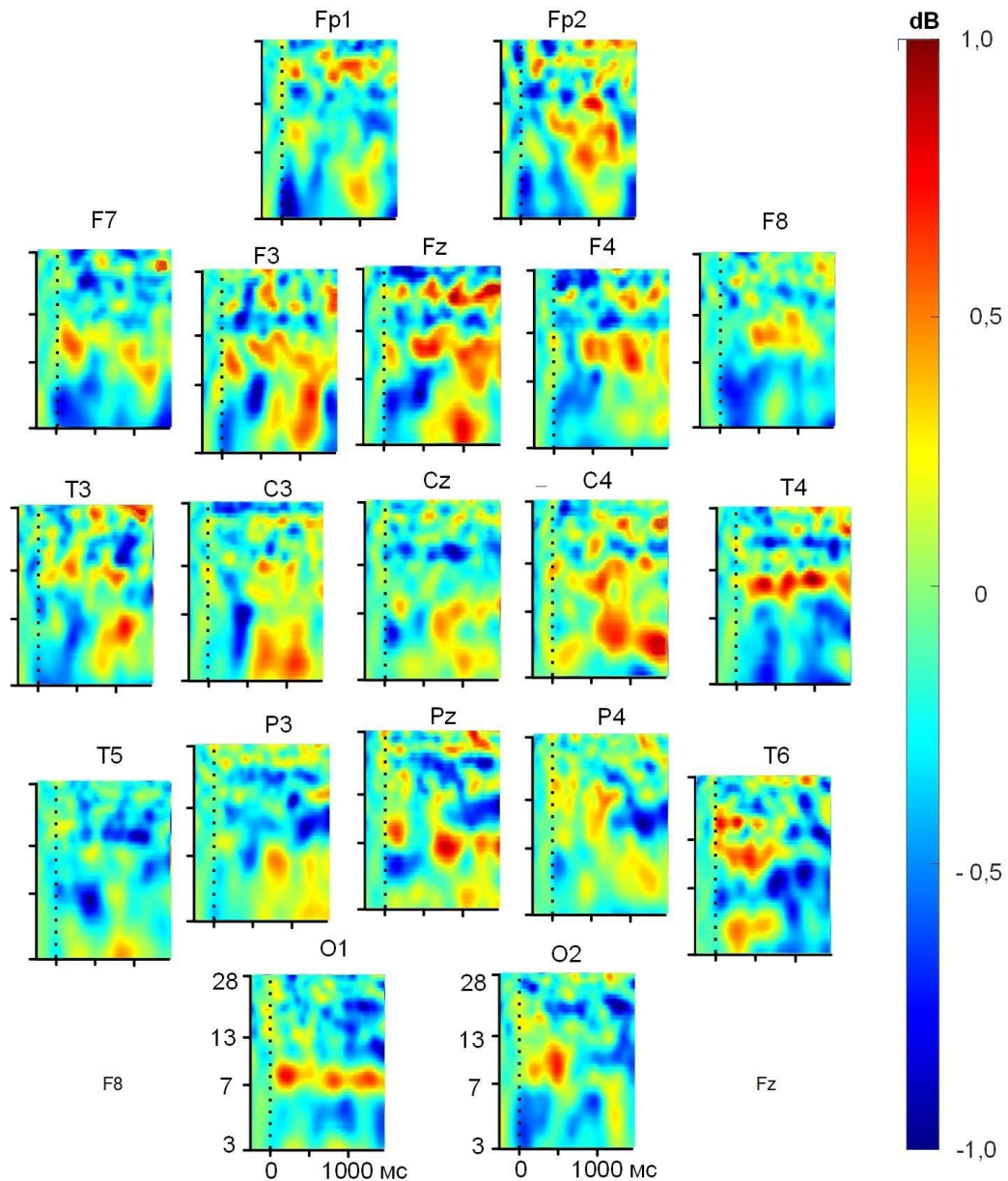


Рис. 3.25 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей 7-10 лет во время прослушивания псевдослов в правильных по смыслу предложениях. Обозначения как на рис. 3.13

Выявлены значимые различия в реактивности ЭЭГ во время восприятия псевдослов в предложениях в группах детей дошкольного и младшего школьного возраста (рис. 3.26).

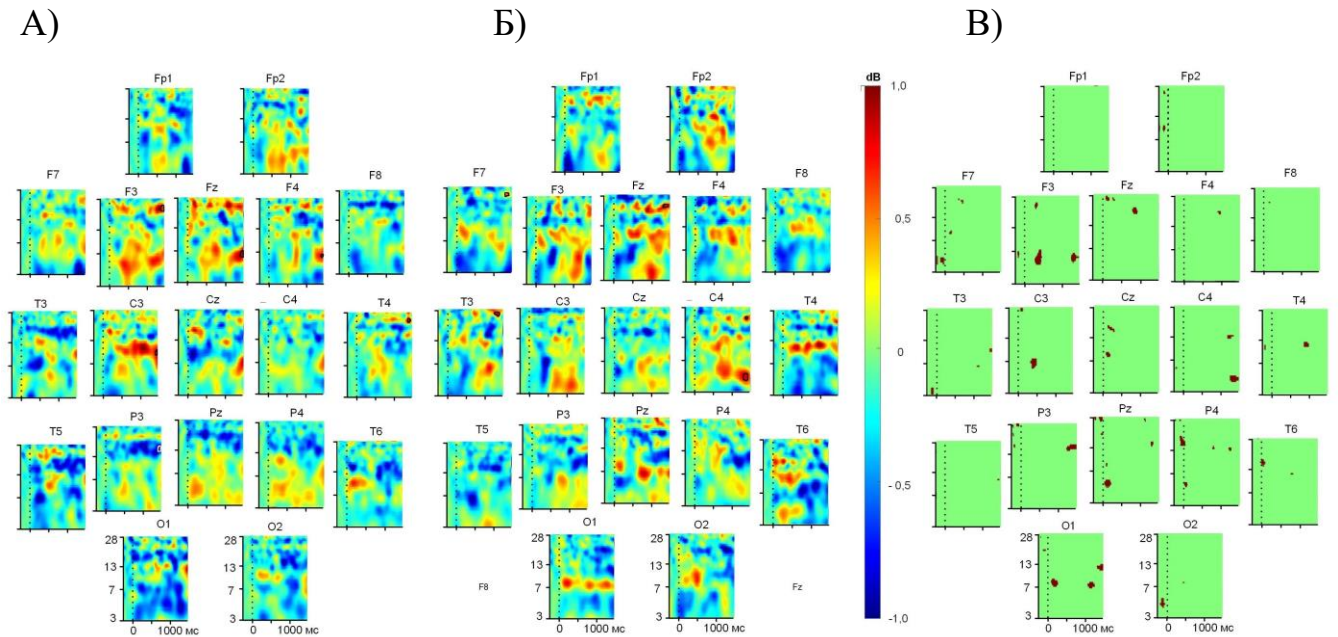


Рис. 3.26 – Сравнение СССП во время прослушивания псевдослов в предложениях в группе типично развивающихся детей 4-6 лет (А), 7-10 лет (Б), межгрупповые различия при $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.13

3.7. Параметры ЭЭГ у детей с нарушением рецептивной речи

3.7.1. Сравнение параметров фоновой ЭЭГ в группах типично развивающихся детей и детей с нарушением рецептивной речи

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 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 (рис. 3.27).

Анализ амплитуды бета-ритма в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами не выявил значимого влияния взаимодействия факторов ГРУППА и ЛОКУС $F(18, 864) = 1,03, p = 0,42$.

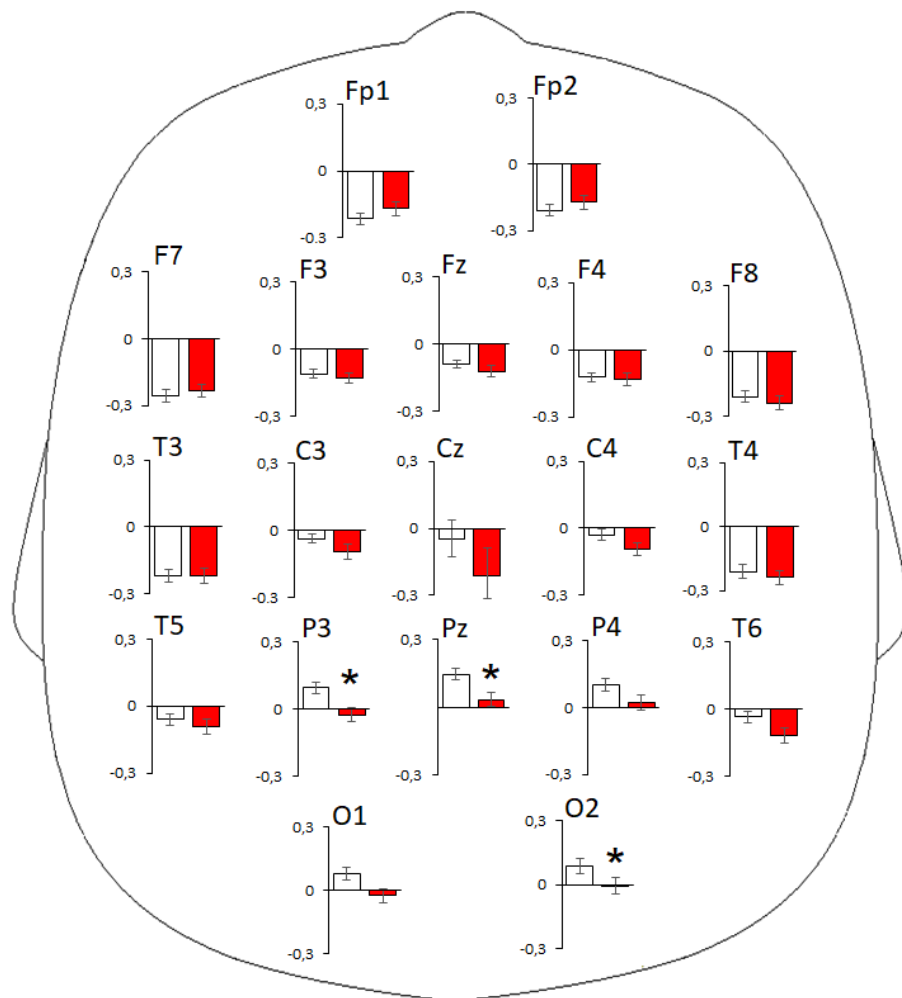


Рис. 3.27 – Значения логарифмированной амплитуды альфа-ритма ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами у типично развивающихся детей (светлые столбцы) и детей с нарушением рецептивной речи (красные столбцы). Звездочками отмечены случаи достоверных различий между показателями, $p < 0,05$

Анализ амплитуды тета-ритма у типично развивающихся детей и детей с нарушением рецептивной речи в ситуации устойчивого зрительного внимания выявил значимое влияние 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 (рис. 3.28).

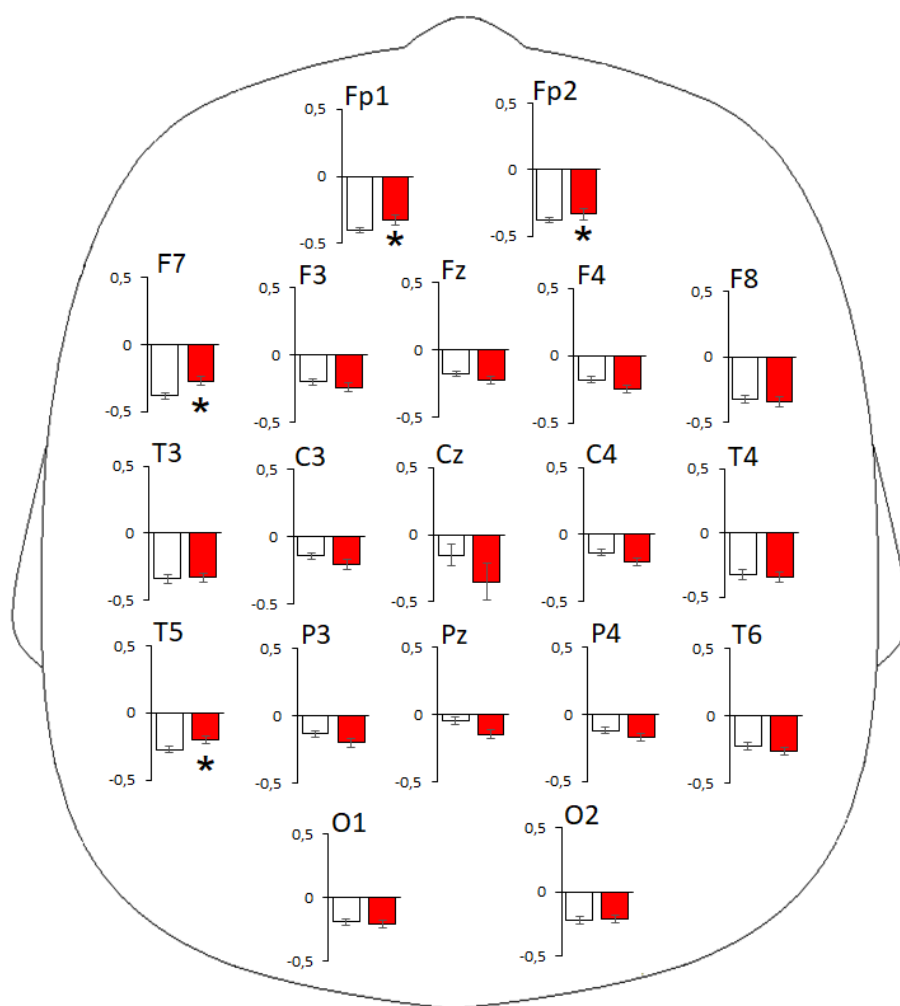


Рис. 3.28 – Значения логарифмированной амплитуды тета-ритма ЭЭГ в ситуации устойчивого зрительного внимания у типично развивающихся детей (светлые столбцы) и детей с нарушением рецептивной речи (красные столбцы).

Звездочками отмечены случаи достоверных различий между показателями,

$$p < 0,05$$

Анализ амплитуды альфа-ритма у типично развивающихся детей и детей с нарушением рецептивной речи в ситуации устойчивого зрительного внимания выявил значимое влияние 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.

Анализ амплитуды бета-ритма у типично развивающихся детей и детей с нарушением рецептивной речи в ситуации устойчивого зрительного внимания не выявил значимого влияния взаимодействия факторов ГРУППА и ЛОКУС $F(18, 810) = 1,41, p = 0,11$.

Таким образом, фоновая ЭЭГ детей с нарушением рецептивной речи характеризуется снижением амплитуды альфа-ритма теменных и затылочных отведениях; повышением амплитуды тета-ритма в лобных и височных зонах.

3.7.2. Реактивность ритмов ЭЭГ у детей с нарушением рецептивной речи во время слухового восприятия существительных

Анализ СССП в группе детей с нарушением рецептивной речи выявил уменьшение мощности ЭЭГ в тета-диапазоне в большинстве отведений, тогда как у типично развивающихся детей наблюдалось увеличение мощности колебаний в диапазоне тета-активности ЭЭГ во временном интервале 300-700 мс после начала стимула в лобных, центральных и височных отведениях (рис. 3.29).

Во время прослушивания слов в группе типично развивающихся детей наблюдалась десинхронизация ритмической активности ЭЭГ в альфа-диапазоне, наиболее выраженная в лобных, центральных и височных отведениях примерно через 200 мс после начала стимула (см. рис. 3.29 А), тогда как у детей с нарушением рецептивной речи – синхронизация альфа-активности в большинстве отведений ЭЭГ (рис. 3.29 Б). Различия в мощности ЭЭГ альфа-диапазона достигали уровня статистической значимости в отведениях F3, F4, F8, Cz, C3, C4, Pz, P3, P4, T5, T6, O1, O2

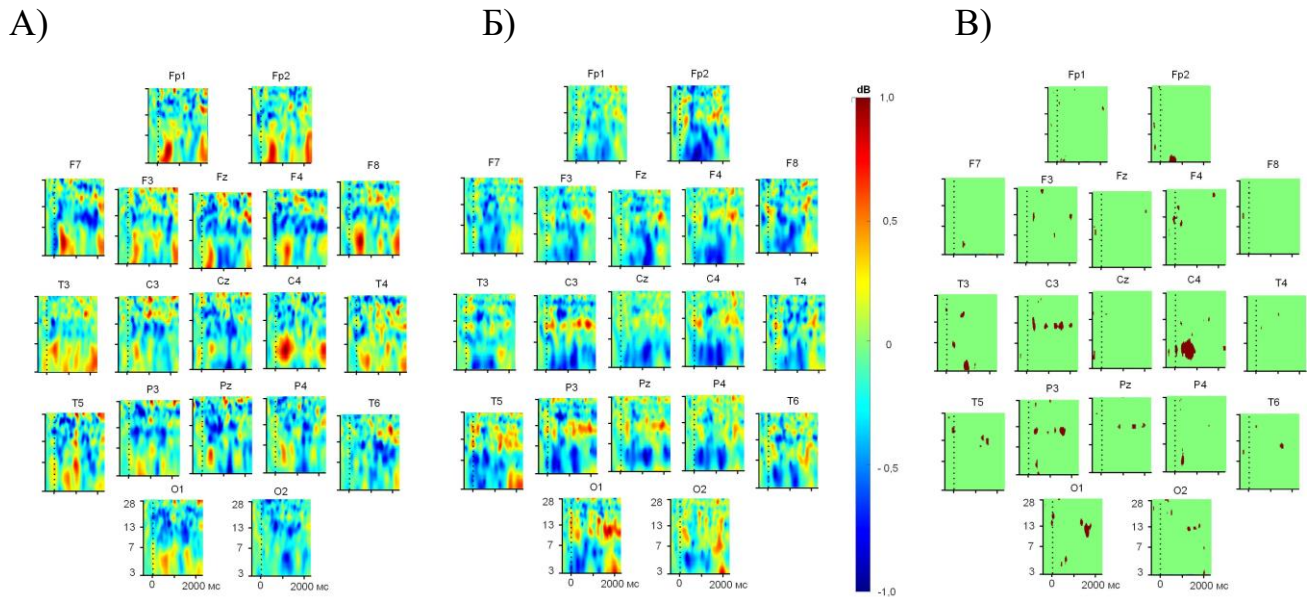


Рис. 3.29 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у типично развивающихся детей (А), у испытуемых с нарушением рецептивной речи (Б), межгрупповые различия $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.1

3.7.3. Реактивность ритмов ЭЭГ детей с нарушением рецептивной речи во время слухового восприятия слов в предложениях

Дисперсионный анализ с повторными измерениями в группе детей с нарушением рецептивной речи во время восприятия глаголов в правильных по смыслу предложений выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 538-900 мс, 1137-1394 мс.

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 (рис. 3.30, таблица 3.16). Различия в тета-активности при сравнении с группой типично развивающихся детей достигали уровня статистической значимости в отведениях Fp1, Fp2, F7, F8 (рис. 3.31).

Во время прослушивания слов в группе типично развивающихся детей наблюдалась десинхронизация ритмической активности ЭЭГ в альфа-диапазоне,

наиболее выраженная в лобных, центральных и теменных отведениях примерно через 200 мс после начала стимула, тогда как у детей с нарушением рецептивной речи – синхронизация альфа-активности в большинстве отведений ЭЭГ (рис. 3.30, таблица 3.16). Различия в мощности ЭЭГ альфа-диапазона достигали уровня статистической значимости в отведениях Fz, F3, F4, C3, C4, Pz, P4, T4, T6 (рис. 3.31).

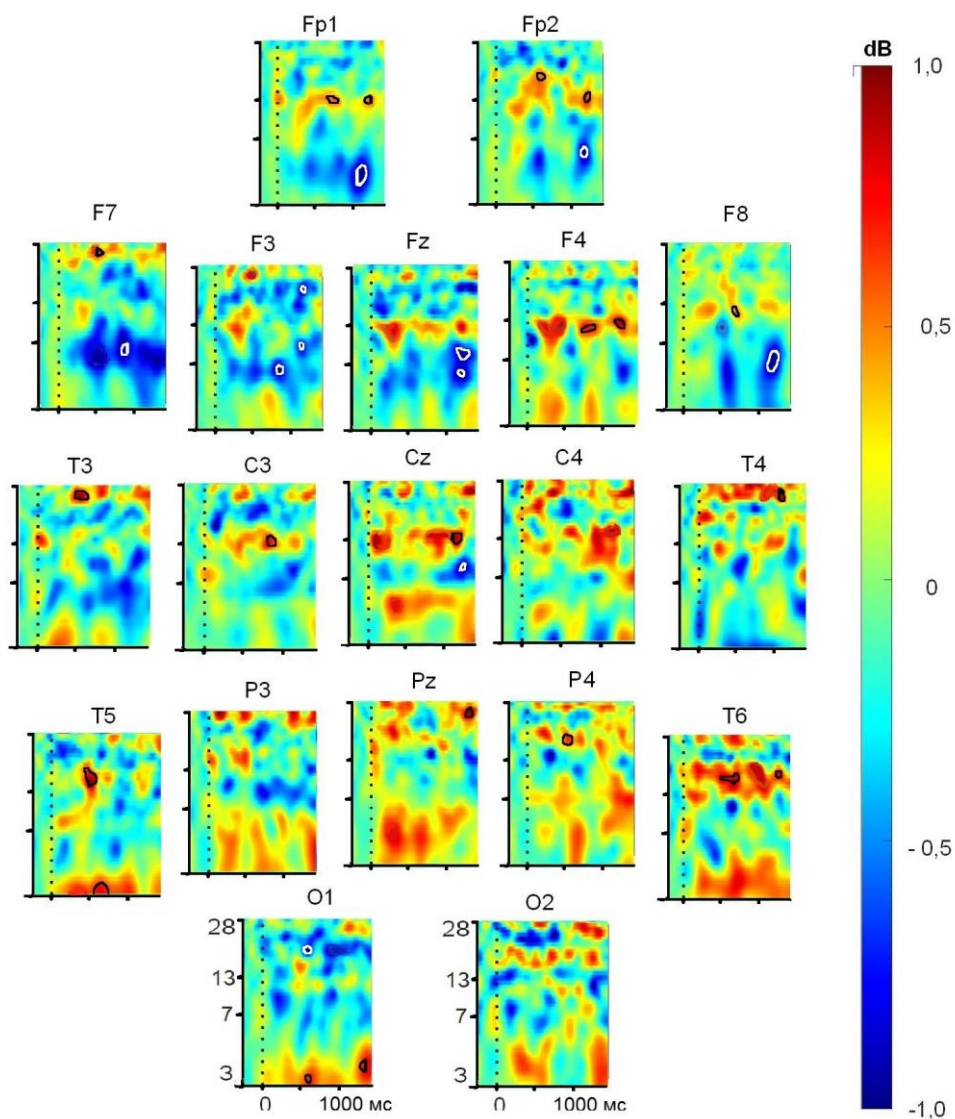


Рис. 3.30 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у детей с нарушением рецептивной речи во время прослушивания глаголов в правильных по смыслу предложениях. Обозначения как на рис. 3.13

Таблица 3.16 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически изменения ЭЭГ во время восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях в группе детей с нарушением рецептивной речи

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	T5 (573-794), O1 (635-706, 1349-1394)
Десинхронизация тета-активности	Fp1 (1137-1288), Fp2 (1208-1323), Fz (1252-1323), F3 (811-900), F7 (847-900), F8 (1191-1341)
Синхронизация альфа-активности	F4 (732-900, 1164-1305), F8 (688-794), Cz (1137-1323)
Десинхронизация альфа-активности	Fz (1147-1341), F3 (1137-1279), Cz (1279-1385)
Синхронизация бета-активности	Fp1 (732-900, 1278-1367), Fp2 (582-723, 1252-1349), F7 (538-653), C3 (617-900), Pz (1279-1394), P4 (538-653), T3 (538-688), T4 (1137-1217), T6 (538-776, 1261-1394)
Десинхронизация бета-активности	F3 (1191-1252), O1 (582-688)

Выявлены значимые различия в реактивности ЭЭГ во время восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях в группах типично развивающихся детей и детей с нарушением рецептивной речи (рис. 3.31).

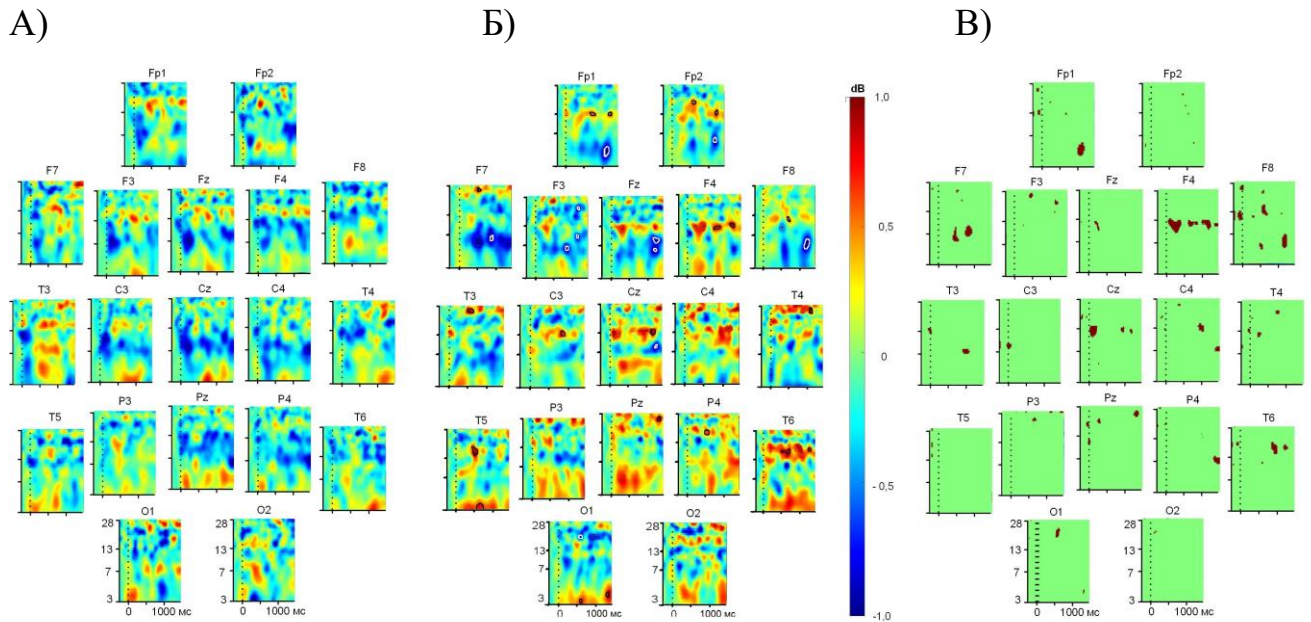


Рис. 3.31 – Сравнение СССП во время прослушивания глаголов в правильных по смыслу предложениях в группе типично развивающихся детей (А), детей с нарушением рецептивной речи (Б), межгрупповые различия при $p < 0,01$ (В).

Обозначения как на рис. 3.13

Во время слухового восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группе детей с нарушением рецептивной речи реакции 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 (рис. 3.32). 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.

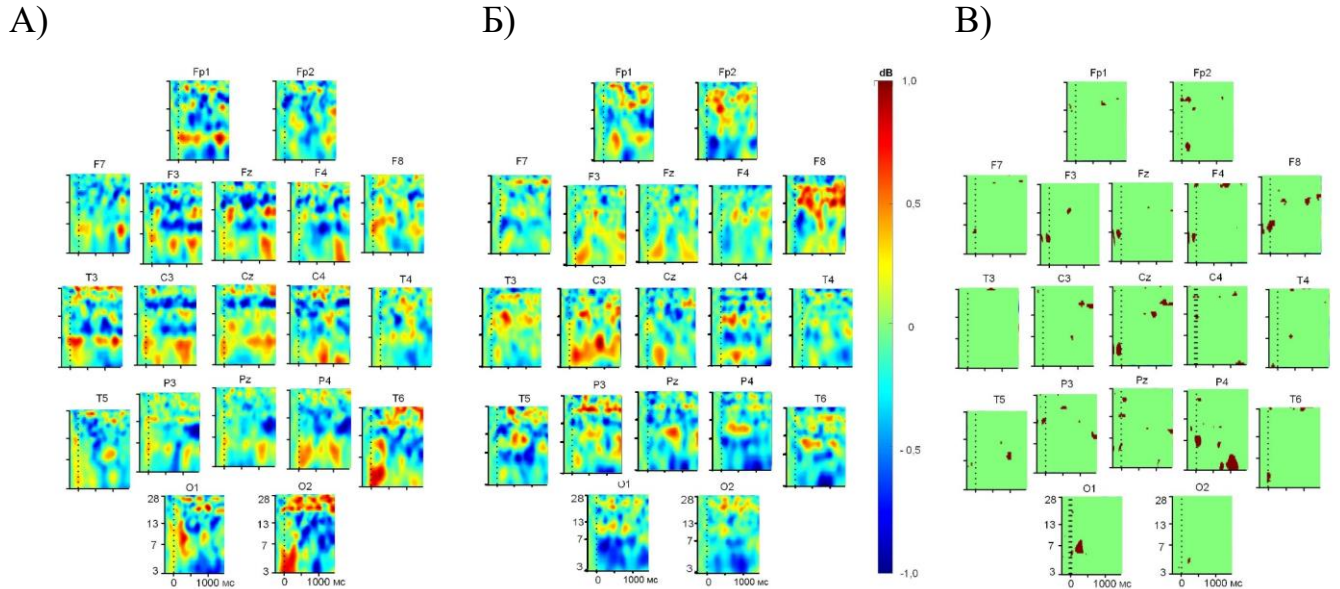


Рис. 3.32 – Сравнение СССП во время слухового восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группе типично развивающихся детей (А), детей с нарушением рецептивной речи (Б), межгрупповые различия при $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.13

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 (рис. 3.33). Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 291-340 мс, 538-732 мс. Результаты апостериорного анализа представлены в таблице 3.17.

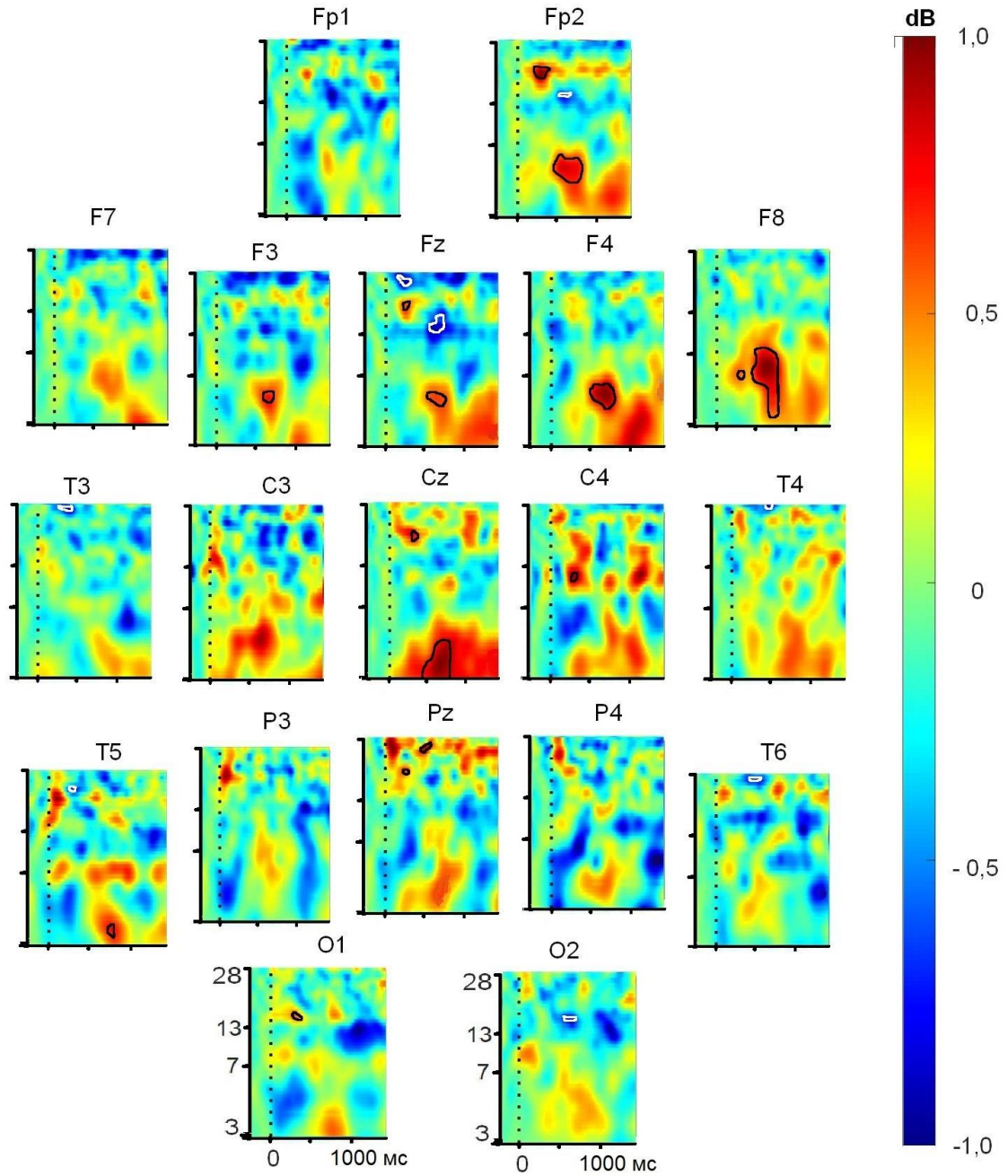


Рис. 3.33 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у детей с нарушением рецептивной речи во время прослушивания псевдослов в предложении. Обозначения как на рис. 3.13

Таблица 3.17 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически изменения ЭЭГ во время восприятия псевдослов в предложениях в группе детей с нарушением рецептивной речи

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	Fp2 (538-732), Fz (617-732), F3 (538-732), F4 (538-732), F8 (291-340, 538-732), Cz (538-732), T5 (697-732)
Синхронизация альфа-активности	C4 (318-340)
Синхронизация бета-активности	Fp2 (265-485), Fz (238-353), Cz (238-370), Pz (256-318, 441-670), O1 (238-441)
Десинхронизация бета-активности	Fp2 (609-723), Fz (238-370, 600-856), T3 (344-512), T4 (494-564), T5 (265-353), T6 (529-582), O2 (617-732)

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 (рис. 3.34).

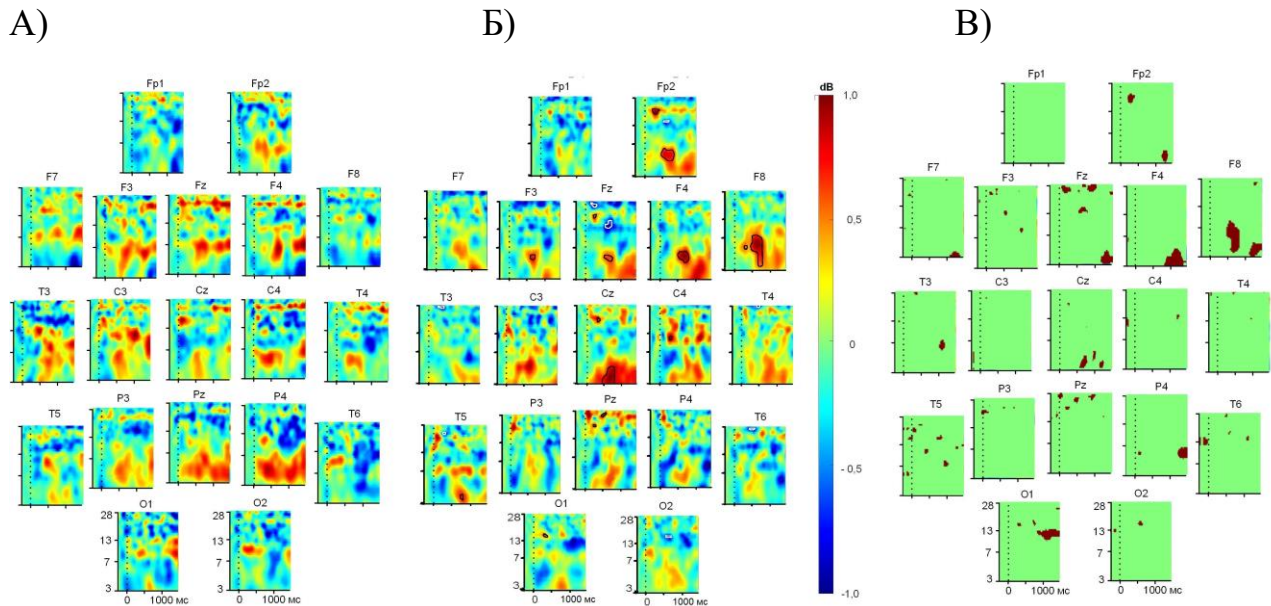


Рис. 3.34 – Сравнение СССП во время слухового восприятия псевдослов в предложениях в группе типично развивающихся детей (А), детей с нарушением рецептивной речи (Б), межгрупповые различия при $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.13

3.8. Параметры ЭЭГ у детей с задержкой психоречевого развития

3.8.1. Сравнение параметров фоновой ЭЭГ в группах типично развивающихся детей и детей с задержкой психоречевого развития

Анализ различий амплитуды тета-активности у типично развивающихся детей и их сверстников с ЗПРР в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами не выявил значимого влияния взаимодействия факторов ГРУППА и ЛОКУС, $F(18, 1188) = 1,17, p = 0,28$.

Дети с ЗПРР имели более низкую амплитуду альфа-ритма по сравнению с типично развивающимися детьми во всех отведениях, однако влияние взаимодействия факторов ЛОКУС и ГРУППА на различия у типично развивающихся детей и детей с ЗПРР для альфа-диапазона ЭЭГ не достигли уровня статистической значимости, $F(18, 1118) = 1,28, p = 0,19$.

Анализ различий амплитуды бета-активности у типично развивающихся детей и детей с ЗПРР в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами не выявил значимого влияния взаимодействия факторов ГРУППА и ЛОКУС, $F(18, 1188) = 0,63, p = 0,88$.

В ситуации устойчивого зрительного внимания в группах типично развивающихся детей и их сверстников с задержкой психоречевого развития также не выявлено различий, достигающих уровня статистической значимости.

3.8.2. Реактивность ритмов ЭЭГ у детей с задержкой психоречевого развития во время слухового восприятия существительных

Анализ СССП в группе типично развивающихся детей с ЗПРР показал увеличение мощности колебаний в диапазоне тета-активности ЭЭГ во временном интервале 200-800 мс после начала стимула в лобных, центральных, теменных и височных отведениях (рис. 3.35, таблица 3.18). Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временных промежутков 526-613 мс.

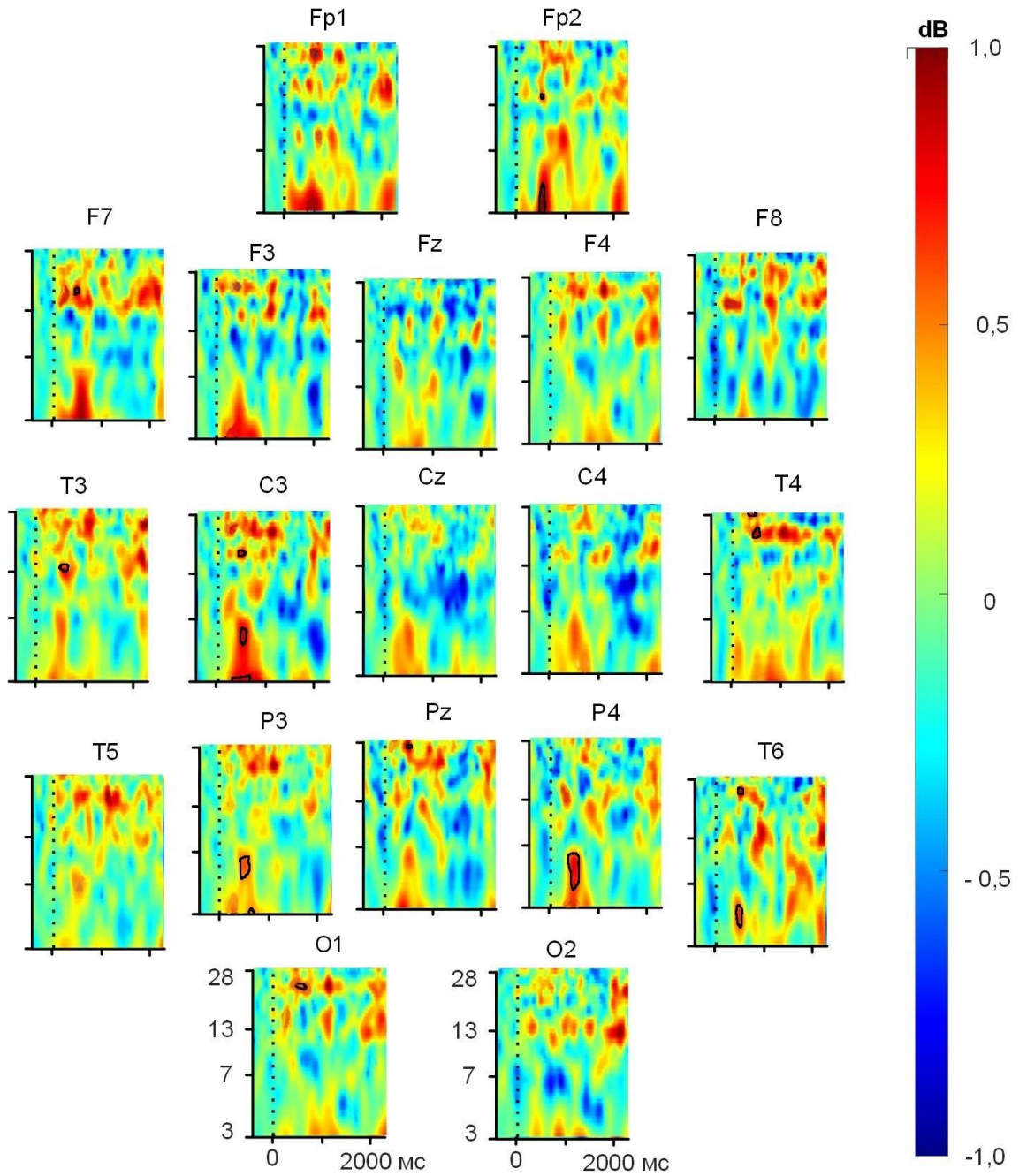


Рис. 3.35 – СССП в группе детей с ЗПРР во время слухового восприятия существительных. Обозначения как на рис. 3.1

Таблица 3.18 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически изменения ЭЭГ во время восприятия существительных в группе детей с задержкой психоречевого развития

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	Fp2 (573-613), C3 (526-613), P3 (526-613), P4 (526-613), T6 (526-602)
Синхронизация бета-активности	Fp2 (588-613), F7 (526-588), C3 (526-617), Pz (588-602), T3 (588-613), T4 (526-613), T6 (543-613), O1 (526-613)

Выявлены значимые различия в показателях ЭЭГ во время слухового восприятия слов-существительных в группах типично развивающихся детей и детей с ЗПРР (рис. 3.36), однако значимые различия регистрируются на коротких временных промежутках.

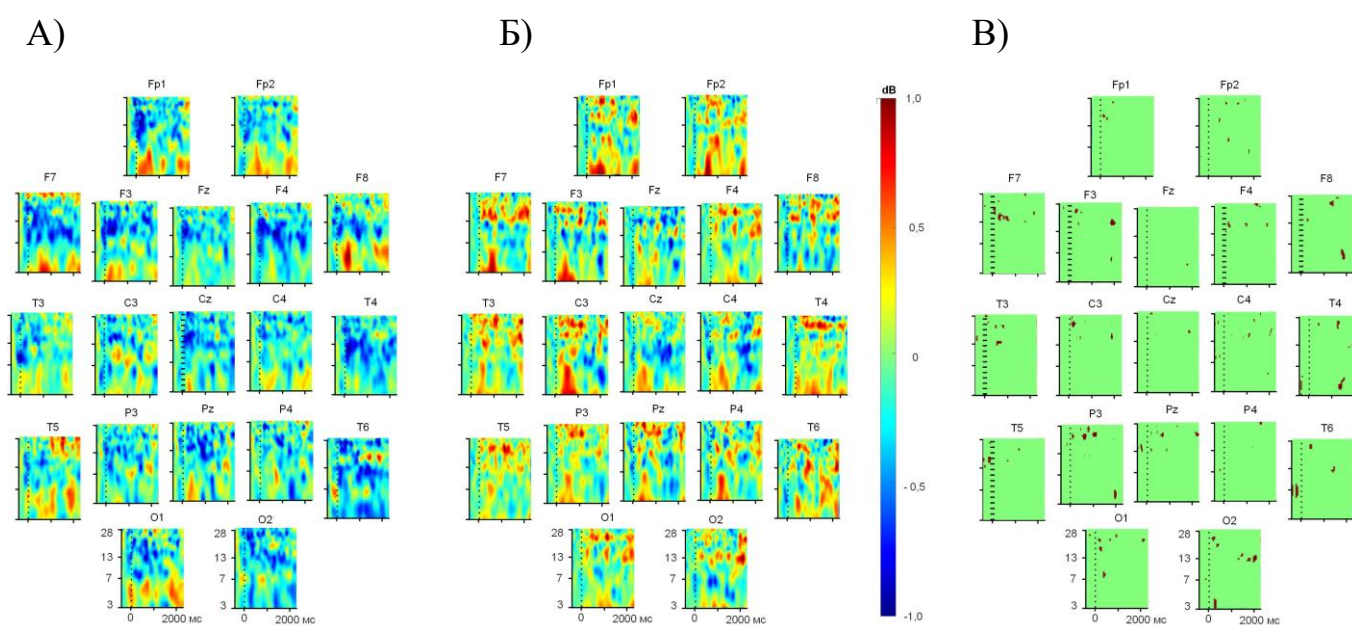


Рис. 3.36 - Сравнение СССП во время слухового восприятия существительных в группе типично развивающихся детей (А), детей с ЗПРР (Б), межгрупповые различия при $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.1

3.8.3. Реактивность ритмов ЭЭГ у детей с задержкой психоречевого развития во время слухового восприятия слов в предложениях

В группе детей с ЗПРР при слуховом восприятии глаголов в правильных по смыслу предложениях регистрировалась синхронизация тета-, альфа- и бета-активности в лобных, центральных, теменных и височных отведениях (рис. 3.37, таблица 3.21). Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов СИТУАЦИЯ, ЛОКУС и ЧАСТОТА для временного промежутка 203-256 мс.

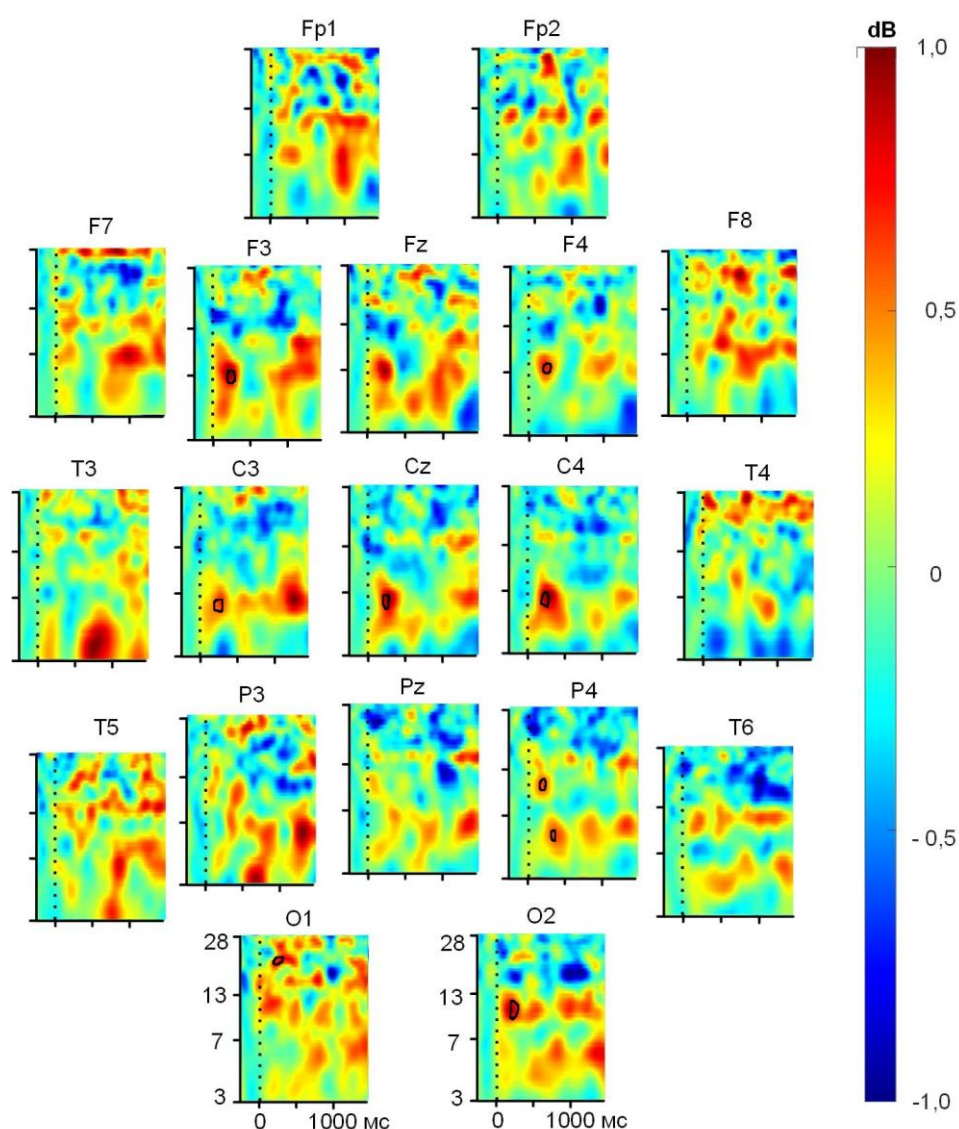


Рис. 3.37 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у детей с ЗПРР во время прослушивания глаголов в правильных по смыслу предложениях. Обозначения как на рис. 3.13

Результаты апостериорного анализа представлены в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически изменения ЭЭГ во время восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях в группе детей с ЗПРР

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Синхронизация тета-активности	F3 (203-256), F4 (203-256), Cz (203-256), C3 (203-256), C4 (203-256), P4 (221-256)
Синхронизация альфа-активности	P4 (203-256), O2 (203-256)
Синхронизация бета-активности	O1 (203-256)

Выявлены значимые различия в реактивности ЭЭГ во время восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях в группах типично развивающихся детей и детей с ЗПРР (рис. 3.38).

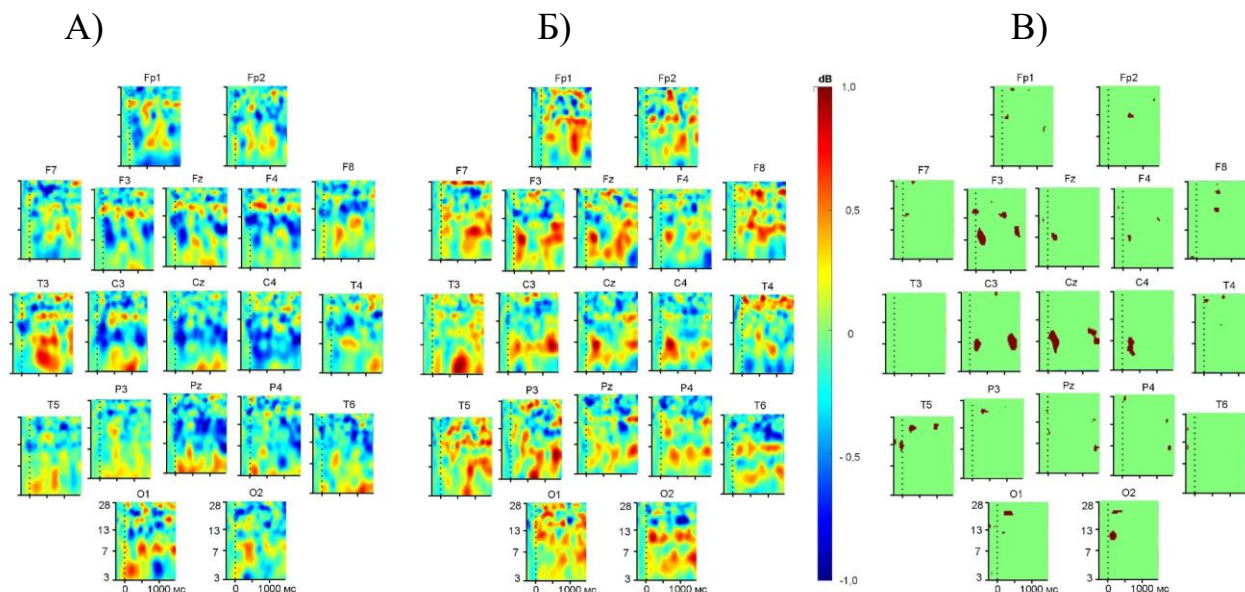


Рис. 3.38 – Сравнение СССП во время прослушивания глаголов в правильных по смыслу предложениях в группе типично развивающихся детей (А), детей с ЗПРР (Б), межгрупповые различия при $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.13

В группе детей с ЗПРР при слуховом восприятии глаголов в неправильных по смыслу предложениях дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов Ситуация, Локус и Частота для временных промежутков 9-36, 423-520 мс (рис 3.39).

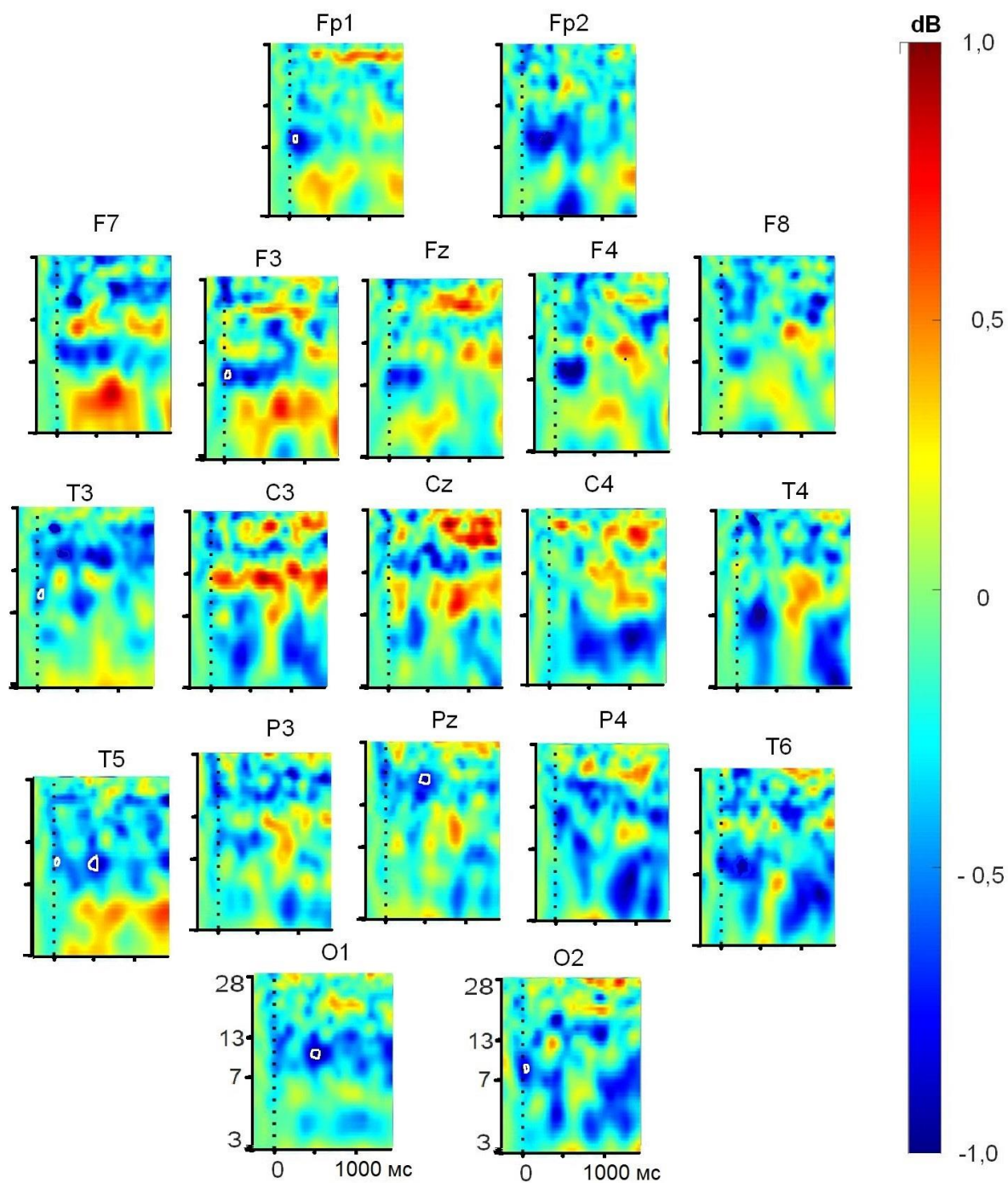


Рис. 3.39 – Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у детей с ЗПРР во время прослушивания глаголов в неправильных по смыслу предложениях. Обозначения как на рис. 3.13

Результаты апостериорного анализа представлены в таблице 3.20.

Таблица 3.20 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически изменения ЭЭГ во время восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группе детей с ЗПРР

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Десинхронизация альфа-активности	Fp1 (9-36), F3 (9-36), O1 (485-520), O2 (9-36), T3 (9-36), T5 (9-36, 476-520)
Десинхронизация бета-активности	Pz (459-520)

Выявлены значимые различия в реактивности ЭЭГ во время восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группах типично развивающихся детей и детей с ЗПРР (рис. 3.40).

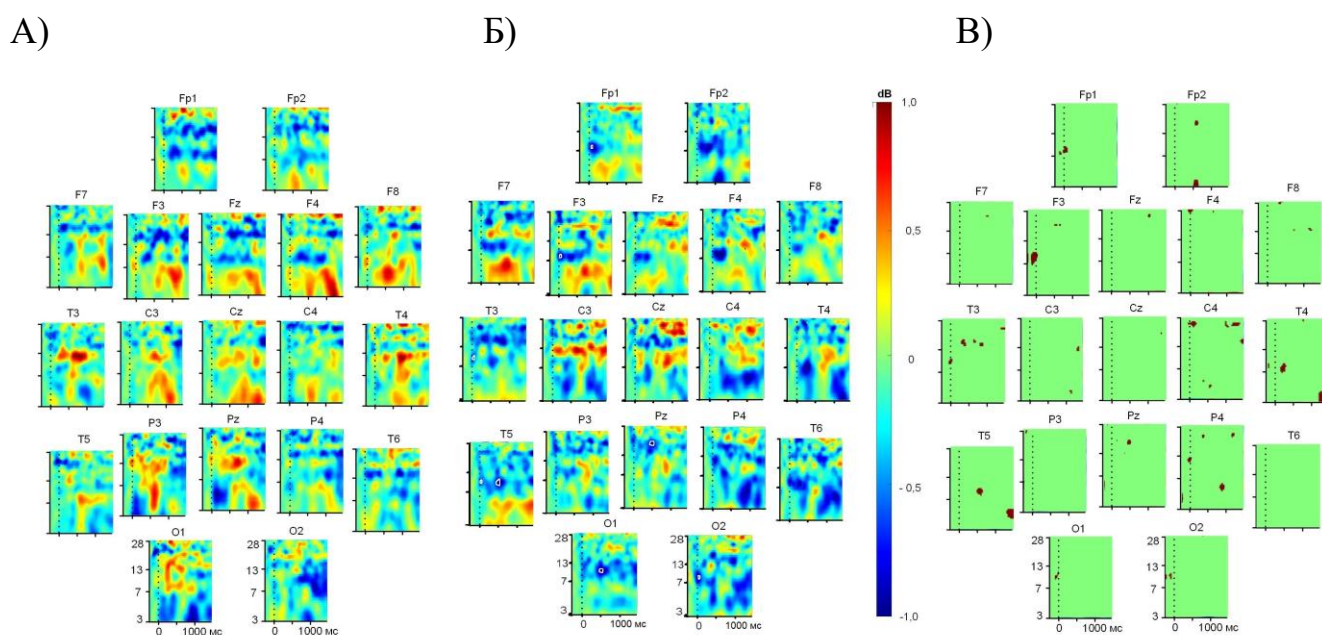


Рис. 3.40 – Сравнение СССП во время слухового восприятия глаголов в неправильных по смыслу предложениях в группе типично развивающихся детей (А), детей с ЗПРР (Б), межгрупповые различия при $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.13

В группе детей с ЗПРР 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 (рис. 3.41, таблица 3.21). Дисперсионный анализ с повторными измерениями выявил значимое влияние взаимодействия факторов Ситуация, Локус и Частота для временных промежутков 344-600 мс (таблица 3.21).

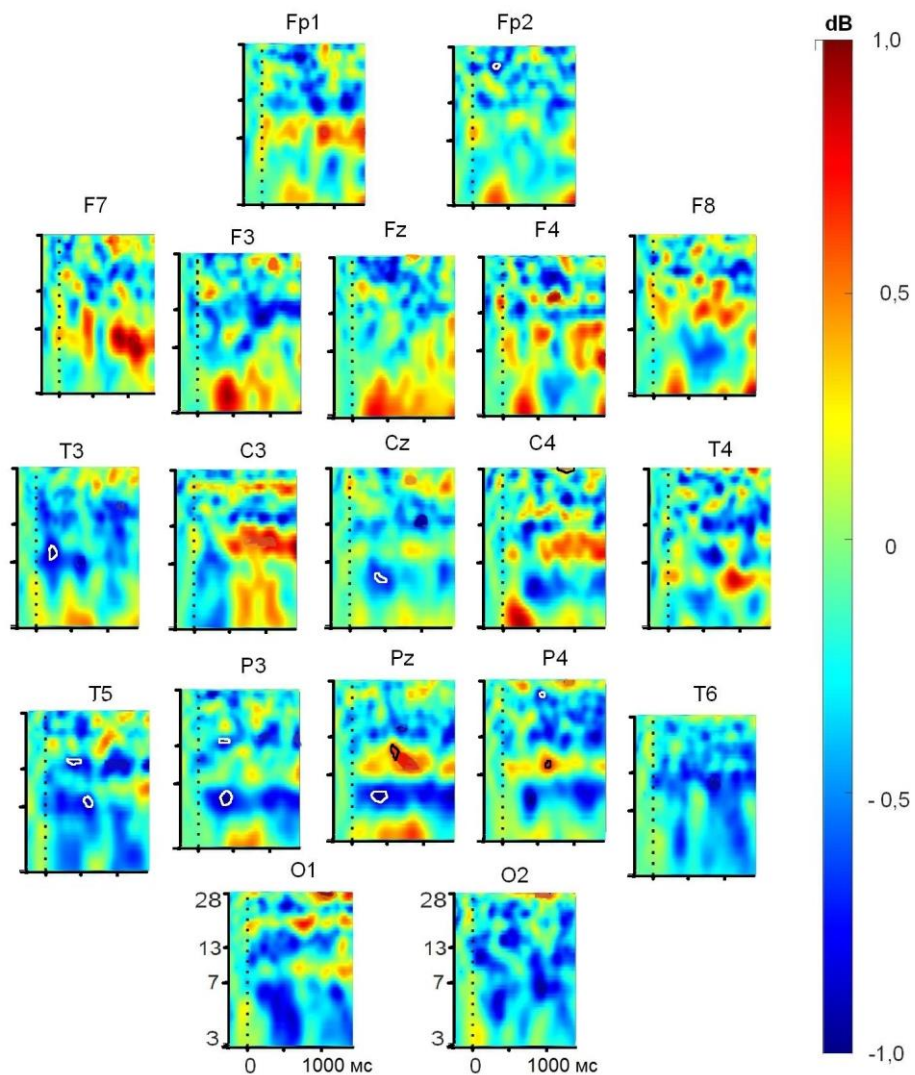


Рис. 3.41 Связанные с прослушиванием слов спектральные пертурбации у детей с ЗПРР во время прослушивания псевдослов в предложениях. Обозначения как на рис. 3.13

Таблица 3.21 – Отведения ЭЭГ и временные интервалы (мс), в которых выявлены статистически изменения ЭЭГ во время восприятия псевдослов в предложениях в группе детей с ЗПРР

	Отведения (промежутки со значимым изменением, мс)
Десинхронизация тета-активности	Cz (441-591), Pz (370-582), P3 (344-529), P4 (397-467), T3 (344-353), T5 (573-600)
Синхронизация альфа-активности	Pz (508-600), P4 (573-600)
Десинхронизация альфа-активности	T5 (508-564)
Десинхронизация бета-активности	Fp2 (344-362), P3 (344-485), T5 (344-564)

Выявлены значимые различия в реактивности ЭЭГ во время восприятия псевдослов в предложениях в группах типично развивающихся детей и детей с ЗПРР (рис. 3.42).

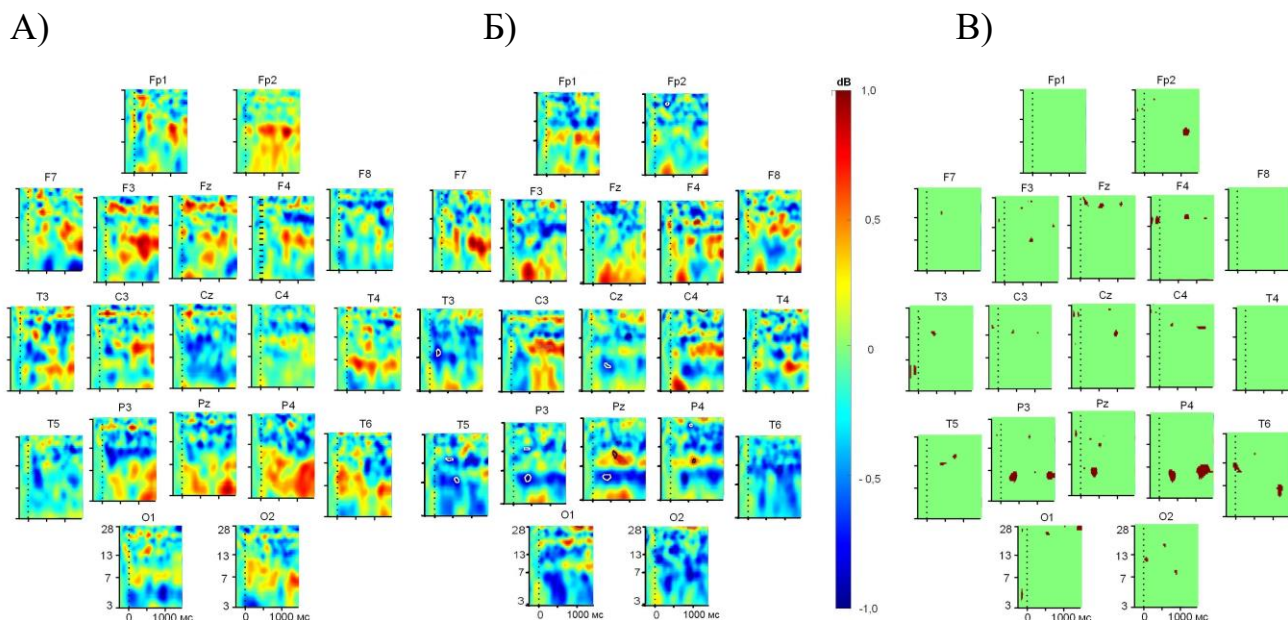


Рис. 3.42 – Сравнение СССП во время слухового восприятия псевдослов в предложениях в группе типично развивающихся детей (А), детей с ЗПРР (Б), межгрупповые различия при $p < 0,01$ (В). Обозначения как на рис. 3.13

ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. Особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей во время слухового восприятия существительных

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 (см. раздел 3.1). Такую синхронизацию связывают с лексико-семантическими операциями поиска и извлечения слов из памяти [121]. Результаты настоящего исследования подтвердили данные о более обширной синхронизации ЭЭГ в тета-диапазоне во время восприятия слов у детей по сравнению со взрослыми [121; 166]. Так, значимая синхронизация тета-активности у детей 4-10 лет наблюдается не только в лобных и теменных отведениях левого полушария, но и в лобных, височных и центральных зонах обоих полушарий. Аналогичные закономерности, в частности менее локализованная тета-синхронизация и присутствие правосторонней тета-реакции во время обработки речи у детей, обнаружены в ряде других исследований [48; 73; 86; 121]. При этом возрастные различия, зарегистрированные в правой лобной области у типично развивающихся детей, не коррелировали с показателями словарного запаса, понимания прочитанного или эффективностью чтения [121] и, скорее всего, были больше связаны со взрослением, чем с речевыми способностями. Результаты настоящего исследования подтвердили большую длительность тета-синхронизации у детей, чем у взрослых [112], связанную с более сложным процессом обработки речевых сообщений.

Значимая десинхронизация альфа-активности в отведении Т3 во время прослушивания слов согласуется с данными о реактивности «слухового» альфа-ритма в ответ на предъявление звуковых стимулов [194]. Выявленная десинхронизация альфа-активности в теменно-затылочных и лобно-центральных

отведениях в ответ на предъявление слов может отражать как процессы внимания [191], так и процессы, специфически связанные с восприятием речи. Так, предъявление младенцам предложений, обозначающих действия, сопровождается падением мощности центрального мю- и затылочного альфа-ритма, а при предъявлении предложений с псевдословами – изменения мю-ритма отсутствовали, в то время как альфа-ритма – сохранялись [33]. Авторы связывают десинхронизацию мю-ритма с активацией сенсомоторной системы при восприятии предложений, обозначающих действия, а теменно-затылочного альфа-ритма – с процессами внимания. Вовлечение моторных зон в процессы восприятия речи обсуждается и в других исследованиях. Так, выявлено увеличение амплитуды моторных вызванных потенциалов от мышц губ и языка во время прослушивания речи [66], а также активация премоторной коры левого полушария как при проговаривании, так и при прослушивании слогов [32]. Кроме этого, исследования с использованием транскраниальной магнитной стимуляции показали, что различение речевых звуков нарушается при воздействии на артикуляционные моторные зоны [118]. В связи с этим были выдвинуты предположения об участии артикуляционных моторных областей в процессах понимания речи [170].

Чаще всего активация моторных зон связана с обработкой сложных предложений, содержащих информацию о движениях и действиях [92; 129; 150], распознаванием речевых сигналов в шуме [47, 159; 197], необходимостью вовлечения дополнительных ресурсов внимания и памяти [68]. Однако в отдельных работах отмечена реактивность мю-ритма ЭЭГ во время различения слогов [91; 193], пассивного восприятия отдельных слов, псевдослов и предложений [118; 132; 176; 181]. Слова-существительные в нашем эксперименте были хорошо знакомы детям, а их пассивное восприятие не требовало дополнительного вовлечения ресурсов внимания. Стоит отметить, что во время тестового предъявления слов дети дошкольного возраста часто повторяли звучащие существительные. Можно предположить, что десинхронизация альфа- и

бета-активности в центральных зонах связана с задействованием детьми механизмов внутреннего проговаривания слов-существительных, наиболее простых и знакомых детям в этом возрасте.

В большинстве отведений ЭЭГ в время восприятия отдельных слов выявилась десинхронизация бета-активности. Это совпадает с существующими данными о бета-десинхронизации во время восприятия слов у взрослых испытуемых [37, 39; 40; 156]. Отмечается связь десинхронизации бета-активности в лобных и височных зонах с увеличением нагрузки на рабочую память во время восприятия слов [147; 149; 190].

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. Несмотря на выраженную синхронизацию тета-активности в лобных и височных локусах левого полушария, применение поправки Хьюнха-Фельдта показало, что различия с предстимульной активностью не достигли уровня статистической значимости. У детей 7-10 лет тета-синхронизация была более выраженной и затрагивала не только зоны левого полушария, но и правосторонние области. Большее вовлечение правого полушария в процессы восприятия речи в группе школьников по сравнению с детьми дошкольного возраст оказалось неожиданным результатом. Действительно, хотя в исследованиях динамики ЭЭГ в процессе восприятия слов у детей 8-12 лет и подчеркивается роль правого полушария [121], авторы указывают на значительное снижение правосторонней синхронизации тета-активности у более старших из обследованных детей. Следует отметить, что в указанной работе, как и в большинстве исследований, применявших анализ СССП при восприятии речи, дети школьного возраста читали слова, тогда как в нашем исследовании исследовалось слуховое восприятие слов. Несмотря на то, что нейронные сети чтения и слухового восприятия речи частично перекрываются, прослушивание слов требует дополнительного анализа просодических компонентов речи, обработка которых в большей степени

происходит в правом полушарии [23; 25; 189]. В исследовании ССП во время прослушивания речи также выявлена правосторонняя локализация N400, однако рассматривалась группа детей 4-17 лет [143]. Отдельно у детей дошкольного возраста подобных исследований не проводилось.

В ряде исследований интерпретируют не только изменения в тета-диапазоне, связанные с обработкой стимула («фазическую» тета-активность), но и «тоническую» тета-активность, отражающую готовность к восприятию стимулов [101; 104]. «Тоническая» тета-активность увеличивается в состояниях, связанных со сниженной способностью к когнитивной обработке (например, при неврологических заболеваниях, утомлении) и понижена в состоянии готовности к восприятию информации. Более выраженная синхронизация тета-активности в правом полушарии у детей школьного возраста может быть также связана с различием в уровне предстимульной «тонической» тета-активности [146]. Более выраженная реактивность тета-ритма у детей школьного возраста и отсутствие значимых изменений тета-активности у детей дошкольного возраста может быть обусловлена более высоким уровнем «тонической» тета-активности.

Вероятно, величина правополушарной тета-синхронизации по мере взросления меняется нелинейно: увеличивается к 7-8 годам и далее снижается по мере взросления. Будущие исследования могут быть направлены на изучение возрастных изменений не только «фазической», но и «тонической» тета-активности при восприятии серии речевых стимулов с учетом того, что представленность тета-ритма меняется по мере взросления.

В настоящем исследовании особенностью реактивности ЭЭГ у детей 4-6 лет явилась хорошо выраженная десинхронизация в альфа-диапазоне, наблюдающаяся практически во всех отведениях. Поскольку десинхронизация альфа-ритма отражает активацию соответствующих зон неокортекса [59; 114; 128], в том числе обеспечивающих процессы внимания [191], можно предположить, что детям этой группы при восприятии речи требуется привлекать больший, чем младшим школьникам, объем соответствующих мозговых ресурсов.

Кроме этого, десинхронизация ЭЭГ в указанном частотном диапазоне, развивающаяся над двигательными областями коры, может быть связана с активацией у дошкольников моторных артикуляционных зон [16; 118; 139; 170]. Поскольку, по нашим наблюдениям, при предварительном тестовом предъявлении сигналов именно дошкольники чаще стремились повторять слова вслух, они, вероятно, в большей степени опирались на механизмы внутреннего проговаривания слов, чем дети более старшего возраста. Также вовлечение моторных зон в процесс восприятия слов-существительных может быть вызвано активацией моторного репертуара [34; 159], связанного с этими словами (мяч – пинать, бросать, ловить; карандаш – рисовать, держать, сжимать и т. д.).

У детей 7-10 лет десинхронизация альфа-активности носила менее выраженный характер и была не столь широко представлена в анализируемых отведениях. Предположительно, данная группа участников исследования, следуя инструкции внимательно слушать слова, в большей степени использовала ресурсы достаточно развитого в этом возрасте произвольного, чем непроизвольного внимания. Именно преобладание процессов произвольного внимания может приводить к более локальному вовлечению зон мозга в процесс обработки слов. Обращает на себя внимание и усиление мощности в альфа-диапазоне в лобных областях коры у младших школьников. Как показано у взрослых испытуемых [79; 160; 161] для выполнения задач, вовлекающих рабочую память, характерна синхронизация альфа-ритма в лобных зонах. Такую синхронизацию объясняют торможением ряда нейронных цепей, благодаря чему лобные области меньше вовлекаются в новые действия во время выполнения непрерывной задачи по извлечению информации из памяти. Во время восприятия речевых сигналов поступающие звуки также запускают каскад операций извлечения из памяти, которые делают доступными фонологические, синтаксические и семантические свойства отдельных слов [39]. Таким образом, большая мощность ЭЭГ в альфа-диапазоне в лобных областях коры у детей 7-10 лет по сравнению с дошкольниками может указывать на формирование более

зрелых, сходных с таковыми у взрослых, нейрофизиологических механизмов извлечения информации из памяти при восприятии речи.

Более выраженная в группе детей школьного возраста синхронизация бета-ритма во время прослушивания слов-существительных согласуется с выявленной закономерностью, согласно которой для обработки речи дети в большей степени задействуют механизмы, отражающиеся в синхронизации тета-ритма, тогда как по мере взросления обработка речи больше отражается в реактивности бета-ритма [166]. Считают, что такие вспышки бета-ритма, длящиеся всего несколько сотен миллисекунд, отражают мгновенное обновление или реактивацию содержимого рабочей памяти у взрослых [174]. На основании паттерна синхронизации бета-активности можно предположить, что у детей школьного возраста рабочая память основана на задействовании механизмов, более близких к таковым у взрослых.

4.2. Особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей во время слухового восприятия глаголов

Опираясь на результаты ряда исследований, можно было предположить, что слуховое восприятие глаголов вызовет выраженную десинхронизацию альфа- и бета-ритмов в центральных областях [149]. Так, более выраженная альфа-десинхронизация выявлена во время прослушивания глаголов и предложений, описывающих действия [111; 129]. В отдельных исследованиях показана более выраженная активация моторных зон при восприятии глаголов в предложениях, описывающих действия людей по сравнению с теми же глаголами в контексте предложений про животных [185]. Обширная десинхронизация альфа-активности во время восприятия глаголов в группе детей 4-10 лет действительно регистрируется, однако не достигает уровня статистической значимости. Вопреки ожиданиям, во время слухового восприятия существительных, а не глаголов, в общей группе детей зарегистрирована более выраженная и достигающая уровня статистической значимости десинхронизация сенсомоторного ритма по

сравнению. В отдельных работах предполагается, что активация моторных зон не являются специфической только для восприятия глаголов, а скорее отражает процессы обработки информации о действиях на уровне целого предложения [149]. В подтверждение этого, показано, что десинхронизация сенсомоторного альфа-ритма достигает максимума во время восприятия существительных, следующих за глаголом [130], а активация моторных зон скорее связана с интеграцией слов в предложение. При этом одновременная бета-синхронизация над сенсомоторными зонами может быть связана с дополнительным торможением двигательной активности при прослушивании слов, обозначающих действия [107; 149].

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. Во всех возрастных группах наблюдалась синхронизация бета-активности в лобных и центральных отведениях, межгрупповые различия связаны с несовпадением по частоты и времени возникновения бета-вспышек. Учитывая то, что бета-синхронизация над сенсомоторными зонами отражает дезактивацию нижележащих структур, такая реактивность может быть связана с дополнительным торможением двигательной активности при прослушивании слов, обозначающих действия [149]. В связи с отсутствием значимых изменений в

группе детей школьного возраста, полученные результаты требуют дальнейших исследований с участием большего количества испытуемых.

4.3. Особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей во время слухового восприятия псевдослов

Результаты настоящего исследования подтвердили данные о более выраженной тета-синхронизации при прослушивании псевдослов, отражающей более сложный процесс извлечения слов из памяти [36, 101; 157]. Предположительно, для распознавания псевдослов дети предпринимают несколько попыток извлечения из памяти слов, похожих на звучащее псевдослово, что отражается в многократной синхронизации тета-активности.

В исследовании с участием взрослых испытуемых также отмечается увеличение длительности обработки псевдослов и большая выраженность тета-синхронизации через 50–80 и 900–1300 мс после начала их предъявления [5]. В работе [176] тета-синхронизация при прослушивании псевдослов была тем более выраженной, чем больше псевдослово было похоже на существующее слово. Распознавание псевдослов в таком случае было более сложным по сравнению с определением однозначно несуществующих псевдослов и сопровождалось более выраженной активацией лобных и височных структур [79; 137; 176]

Можно предположить, что более широко распределенная у детей тета-синхронизация во время слухового восприятия псевдослов по сравнению с результатами, полученными с участием взрослых испытуемых, связана как с общей закономерностью, отражающейся в локализации мозговой активности по мере взросления, так и с более сложным процессом извлечения слов из памяти, меньшим словарным запасом и опытом различения слов и псевдослов детьми 4–10 лет.

Зарегистрированная во время слухового восприятия псевдослов менее выраженная по сравнению с прослушиванием слов альфа-десинхронизация, иногда сменяющаяся синхронизацией, согласуется с данными, полученными в исследованиях с участием взрослых испытуемых [137; 176]. Объяснениями 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 участвует в обработке стимулов [79; 100; 197].

В отдельных исследованиях была обнаружена альфа-синхронизация не только в теменной, но и в слуховой области коре головного мозга во время одновременного восприятия речи и отвлекающих стимулов [197]. Увеличение мощности альфа-ритма как полагают, способствовало торможению обработки нерелевантной информации и сохранению анализируемых стимулов в рабочей памяти [176; 196; 197]. Можно предположить, что синхронизация альфа-активности через 1-2 секунды после предъявления псевдослов в теменных и височных зонах отражает тормозные процессы, возникающие в момент повторных попыток извлечь из памяти значение слов.

При этом в лобно-центральных зонах происходит десинхронизация альфа-активности, хоть и менее выраженная, чем во время восприятия слов. Похожие результаты были получены в некоторых исследованиях с участием взрослых: восприятие псевдослов вызывало более значимую десинхронизацию сенсомоторного ритма через 400-600 мс после их предъявления по сравнению с восприятием неречевых стимулов [181]. Такие результаты объяснялись активацией моторных зон и попытками внутреннего воспроизведения сигналов для облегчения их понимания.

Как и во время слухового восприятия слов, прослушивание псевдослов у детей школьного возраста сопровождается более выраженной по сравнению с дошкольниками синхронизацией тета-активности в лобных зонах правого полушария, отражающей, предположительно, более активные попытки

извлечения информации из памяти. В группе детей дошкольного возраста тета-синхронизация была более выражена в теменных зонах, в группе школьников – в лобных зонах. Указанные различия можно связать с неравномерностью процессов созревания мозга. Так, известно, что по мере взросления позже всего созревают именно лобные зоны [101].

Во время восприятия псевдослов у детей дошкольного возраста, как и при слуховом восприятии существительных, наблюдалась десинхронизация сенсомоторного альфа-ритма, отражающая активацию моторных артикуляционных зон, тогда как у детей школьного возраста регистрируется синхронизация альфа-активности в центральных зонах. Дети школьного возраста, по-видимому, в большей степени опирались на механизмы извлечения слов из памяти, отражающиеся в тета- и альфа-синхронизации, тогда как дошкольники могли в большей степени задействовать моторные артикуляционные зоны для облегчения понимания речи.

В целом результаты подтверждают представление о том, что обработка изолированных слов задействует области, распределенные по обоим полушариям, и выходит за пределы «классических» речевых областей [112]. У детей дошкольного возраста большее число вовлеченных в процесс обработки слов и псевдослов зон отражается в более выраженной десинхронизации альфа-ритма. У детей школьного возраста регистрируется более выраженная тета-синхронизация в лобных зонах правого полушария, связанная с более активными попытками извлечения слов из памяти.

4.4. Особенности реактивности ритмов ЭЭГ типично развивающихся детей во время слухового восприятия слов и псевдослов в предложениях

Во время восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях у детей зарегистрирована синхронизация тета-активности в лобных, центральных, теменных и височных зонах через 600-1200 мс после предъявления слов,

отражающая извлечение слов из памяти и их семантическую и синтаксическую интеграцию в предложения [38; 112]. Стоит отметить, что подобная реакция зарегистрирована и в исследованиях с участием взрослых, однако с меньшим латентным периодом и максимальной выраженностью через 350 мс [112]. Если у взрослых максимальная тета-синхронизация происходила быстрее при восприятии слов в предложении по сравнению с обработкой отдельных слов [112], что объяснялось наличием облегчающего лексический поиск контекста, то у детей в настоящем исследовании в большинстве отведений выявлены противоположные закономерности. Такие различия подтверждают различия в процессе восприятия речи детей и взрослых. Как и у взрослых испытуемых, у детей 4-10 лет тета-синхронизация была более выражена в зонах левого полушария.

Показано, что тета-синхронизация в лобных, центральных и теменных зонах при восприятии слов в предложении более выражена, чем при восприятии отдельных слов, что может объясняться увеличением нагрузки на рабочую память во время извлечения и интеграции слов в предложении [40; 51; 112]. Синхронизацию тета-активности в височных зонах левого полушария связывают с операциями лексического поиска и извлечения из памяти слов. Показано, что восприятие слов в конце предложения у взрослых сопровождается менее выраженной тета-синхронизацией в височных зонах левого полушария, что может быть связано с большей предсказуемостью последних слов в предложении и облегчением их лексического поиска [112]. В настоящем исследовании наиболее предсказуемыми были слова в составе правильных предложениях, менее предсказуемыми – отдельные слова, а также слова в составе неправильных предложений и псевдослова, однако указанной связи тета-синхронизации в височных зонах с непредсказуемостью звучащих слов выявлено не было. Более того, тета-синхронизация во время слухового восприятия слов в предложении в группе детей 4-10 лет зарегистрирована в височных зонах как левого, так и правого полушария, тогда как при восприятии отдельных слов – только в левом

полушарии. Такие особенности могут быть связаны с большим по сравнению с слуховым восприятием вовлечением структур правого полушария в процесс восприятия аудиовидеозаписи, а также связью правополушарной тета-синхронизации примерно через 600 мс с процессами интеграции слов в предложения.

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 [159]. В отдельных исследованиях десинхронизацию альфа-мощности в областях левого полушария связывают с процессом успешного удержания информации в рабочей памяти [186]. Показано, что активация моторных зон может быть связана не столько с восприятием отдельных глаголов, сколько с процессами интеграции слов в предложениях, обозначающих действия [130].

Синхронизация бета-ритма в лобных зонах при прослушивании глаголов в правильном предложении, согласно данным исследований, отражает процессы сохранения лингвистической информации в памяти и прогностическое кодирование информации по мере развертывания предложения [116]. 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 [115; 116; 127]. В ряде исследований показаны менее выраженные изменения бета-ритма при восприятии предложений у детей 10-12 лет по сравнению со взрослыми, что может отражать недостаточную зрелость механизмов синтаксической интеграции слов в предложения [164; 166; 167]. В настоящем исследовании бета-синхронизация регистрируется в лобных и передневисочных зонах, тогда как в теменных и задневисочных отведениях происходит десинхронизация бета-активности.

Во время восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях у детей школьного возраста зарегистрирована более выраженная синхронизация тета-активности в лобных зонах правого полушария. Такие же закономерности были 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 [112].

Во время прослушивания глаголов в неправильных по смыслу предложениях во всех группах наблюдалась многократная синхронизация тета-активности, наиболее выраженная в центральных и теменных зонах. Полученные результаты согласуются с данными о более выраженной тета-синхронизации во время зрительного восприятия слов в неправильных по смыслу предложениях в группе детей 8-9, 12-13 лет и у взрослых испытуемых [38; 39; 166]. Предположительно, такая активность при прослушивании неправильных по смыслу глаголов связана с активацией слухоречевой рабочей памяти (ПБ 40) [22]. Успешное понимание предложений критически зависит от вовлечения рабочей памяти, а ее объем, по некоторым данным, может предсказывать способность к пониманию сложных предложений [123; 186]. В подтверждение этого, было зарегистрировано увеличение тета-мощности в центрально-теменных зонах правого полушария по мере развертывания предложения и возрастания нагрузки на рабочую память [40; 112]. Для того, чтоб определить правильность предложения, детям нужно соотнести звучащее слово с предъявленными ранее словами, и именно удержание слов в рабочей памяти позволяло различить правильное и неправильное расположение глаголов. В отдельных исследованиях дополнительная тета-синхронизация в ответ на не связанные с контекстом слова объясняется необходимостью извлечения из памяти не только звучащего, но и подходящего по смыслу слова [38; 39]. Другим объяснением дополнительной

тета-синхронизации может быть неожиданность звучания неподходящих по смыслу слов [156], однако в таком случае восприятие псевдослов в предложении вызывало бы более выраженную тета-синхронизацию, что не соответствует полученным в настоящем исследовании результатам.

Во время прослушивания глаголов в неправильных по смыслу предложениях многократная синхронизация тета-активности регистрировалась во всех возрастных группах, однако в группе дошкольного возраста ее выраженность 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 может быть связано с неравномерностью созревания зон мозга [101] и различием в процессах активацией слухоречевой рабочей памяти. Кроме этого, у детей дошкольного возраста тета-синхронизация наблюдалась с меньшим латентным периодом, а иногда и в момент предъявления слов. Межгрупповые различия в тета-синхронизации в момент предъявления стимула достигли уровня статистической значимости в нескольких лобных, центральных, теменных, височных и затылочных отведениях. Предположительно, дети дошкольного возраста, ввиду менее развитых процессов произвольного контроля, начинают вспоминать и извлекать из памяти подходящие по смыслу слова в тот же момент, а иногда и раньше, чем начинают звучать неправильные по смыслу слова. Во время восприятия слов в правильных по смыслу предложениях у детей дошкольного возраста также выявлена ранняя тета-синхронизация, которая, однако, достигает уровня статистической значимости только в локусе T5. Менее выраженная ранняя тета-синхронизация во время восприятия подходящих по смыслу слов может быть связана с тем, что в момент совпадения звучащего и припоминаемого слова не регистрируется различий и процессы извлечения информации из памяти протекают менее активно.

Предполагается, что мощность не только тета-, но и альфа-диапазона в лобно-теменных и височных зонах отражает процессы активации рабочей памяти:

она снижается во время интервала удержания информации в рабочей памяти и синхронизируется во время ее извлечения и сохранения [186]. Как и во время восприятия отдельных существительных и псевдослов, у дошкольников десинхронизация альфа-активности в лобных и центральных зонах более выражена и может отражать как необходимость большей концентрации внимания детей данной возрастной группы на выполнении задания, так и большее вовлечение моторных зон в процесс восприятия речи.

Отсутствие синхронизации бета-активности в лобных зонах в группе детей 4-10 лет во время восприятия слов в неправильных по смыслу предложениях согласуется с полученными в группе взрослых и детей 10-12 лет результатами [166] и, по-видимому, свидетельствует о несоответствии звучащего слова ожидаемому [127].

При слуховом восприятии псевдослов в предложениях в группе типично развивающихся детей 4-10 лет наблюдалась менее выраженная по сравнению с ситуациями восприятия правильно и неправильно расположенных слов синхронизация тета-активности в лобных и височных зонах. Можно предположить, что в контексте предложения типично развивающиеся дети быстро определяли неуместность псевдослов и не продолжали активно обрабатывать аудиальную информацию. Зарегистрированная значимая десинхронизация тета-активности в затылочных отведениях может отражать процессы вовлечения зрительного внимания в обработку видеоизображения [81].

У детей дошкольного возраста, тем не менее, была более выражена синхронизация тета-активности в лобных, теменных и височных зонах. Как и в ситуациях восприятия слов в правильных и неправильных по смыслу предложениях, в некоторых отведениях межгрупповые различия достигли уровня статистической значимости в момент предъявления стимула. Предположительно, существует связь такой ранней тета-реакции с процессами автоматического припоминания (предвосхищения) и извлечения из памяти глаголов, подходящих по смыслу звучащих предложений. Учитывая то, что ранняя синхронизация в

обеих группах не достигла уровня статистической значимости, можно предположить, что обработка псевдослов в контексте предложения проходила менее активно, чем обработка существующих слов, как в группе детей дошкольного, так и школьного возраста. При этом дети школьного возраста, вероятно, в меньшей степени вовлекались в процесс восприятия неуместных в предложении псевдослов, дошкольники – более активно припоминали правильные по смыслу слова, а сам процесс определения правильности предложений требовал вовлечения большего числа мозговых структур.

Во время прослушивания псевдослов в контексте предложений не регистрировалась менее выраженная десинхронизация альфа-активности в лобно-центральных зонах, наблюдающаяся при прослушивании изолированных слов и слов в предложениях, что может отражать как меньшее вовлечение моторных зон в восприятие псевдослов в предложении, так и изменение процесса извлечения слов из памяти [186].

Слуховое восприятие псевдослов в предложении вызывало синхронизацию бета-активности в лобных и центральных отведениях на частоте около 20-25 Гц, тогда как при прослушивании правильно расположенных глаголов – преимущественно на частоте 13-18 Гц, причем различия на указанных частотах достигали уровня статистической значимости. Высказываются предположения, что именно увеличение частоты бета-вспышек может отражать активацию соответствующих областей мозга [153]. Полученные данные требуют дальнейших исследований.

4.5. Особенности ЭЭГ у детей с нарушением рецептивной речи

Выявленное в группе детей с нарушением рецептивной речи снижение средней амплитуды альфа-ритма в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами, предположительно, отражает нарушение формирования процессов торможения [90] и задержку развития в целом. Стоит отметить, что,

несмотря на аналогичные тенденции к снижению амплитуды альфа-активности в фоновой ЭЭГ детей с ЗПРР, различия не достигли уровня статистической значимости, что может отражать более выраженное отклонение параметров ЭЭГ именно в группе детей с нарушением рецептивной речи. При этом выявленное в данной группе повышение амплитуды тета-ритма в лобных и височных отведениях левого полушария в ситуации устойчивого зрительного внимания может отражать как задержку электрогенеза в целом, так и специфические нарушения внимания у детей с нарушением рецептивной речи. Так, в отдельных исследованиях указывается, что нарушения внимания проявляются в большей степени у детей с нарушением рецептивной речи и чаще всего незначительны у детей с моторной алалией (нарушением экспрессивной речи) [4].

Во время слухового восприятия отдельных слов-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 через 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. Наиболее выраженные различия в реактивности тета-ритма выявлены в правом полушарии отведении (локусе С4), что подтверждают важную роль структур правого полушария в процессе обработки речи у детей данного возраста. Согласно данным мета-анализа 128 исследований [187], правое полушарие участвует в процессах обработки просодики речи, а также интеграции информации с учетом ее контекста, что необходимо для построения полного представления о значении высказываний. По мнению некоторых авторов, одной из причин нарушений понимания речи у детей может являться незрелость правополушарного механизма слухового восприятия [6], что, вместе с полученными в настоящем исследовании данными, подчеркивает важную роль

функций правого полушария в механизмах нарушения понимания речи у детей с нарушением рецептивной речи.

Следует отметить, что если у детей с РАС, также имеющих сложности в понимании речи, наблюдается более выраженная по сравнению с типично развивающимися сверстниками синхронизация тета-диапазона ЭЭГ, связанная с пониманием слов [198], то у детей с нарушением рецептивной речи синхронизация тета-активности практически не регистрируется, что позволяет предположить различие мозговых механизмов нарушений понимания обращенной речи у детей с РАС и нарушением рецептивной речи.

Отсутствие во время прослушивания предъявленных 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.

После восприятия аудиовидеозаписей с правильными, неправильным по смыслу и содержащими псевдослова предложениями все дети с нарушением рецептивной речи утвердительно отвечали на вопрос о правильности звучащего стихотворения. Предполагалось, что в связи с этим не будет зарегистрировано значимых различий в паттернах ЭЭГ в этих ситуациях, однако различия были выявлены. Во время слухового восприятия глаголов в правильных по смыслу предложениях у детей с нарушением рецептивной речи наблюдалась не только синхронизация тета-активности (преимущественно в височных и затылочных зонах), 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. Предположительно, отсутствие у детей с нарушением рецептивной

речи тета-синхронизации в лобных зонах связано с изменением или нарушением синтаксической и семантической интеграции слов в предложение [112; 126; 183] и соответствующим нарушением понимания смысла предложения. При этом различий в тета-синхронизации в теменных, затылочных, центральных и височных зонах выявлено не было, что может отражать относительное успешное извлечение из памяти отдельных слов. Были выявлены межгрупповые различия на частоте 9-14 Гц в лобных и центральных зонах – у детей с нарушением рецептивной речи регистрировалась синхронизация, тогда как у типично развивающихся детей – десинхронизация альфа-активности. Подобные изменения выявлены у пожилых людей, имеющих сложности с пониманием речи, по сравнению с 24-летними испытуемыми [42]. Авторы связывали такую инверсию реакции альфа-ритма с нарушением процесса кодирования слов в рабочую память. Другим объяснением различий может быть различие в доминирующей частоте альфа-активности: у детей с нарушением рецептивной речи частота альфа-ритма может быть снижена по сравнению с типично развивающимися детьми, в связи с чем активность в частотном диапазоне 9-14 Гц у детей с сенсорной алалией относится к бета-активности, у типично развивающихся детей – к альфа-активности. В подтверждение этого, в группе типично развивающихся детей наблюдается синхронизация бета-активности в лобных отведениях на частоте около 17 Гц, у детей с нарушением рецептивной речи похожий паттерн регистрируется на частоте около 12 Гц.

В группе детей с сенсорной алалией не регистрируется десинхронизация альфа- и бета-активности в сенсомоторных зонах, наблюдающаяся у типично развивающихся детей во время восприятия слов в правильных по смыслу предложениях. Показано, что десинхронизация сенсомоторного альфа-ритма достигает максимума во время восприятия существительных, следующих за глаголом и соответствующая активация моторных зон связана с интеграцией слов в предложение [130]. Отсутствие такого паттерна у детей с сенсорной алалией, 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 аудиовидеозаписей вызвало более выраженные и более приближенные к норме реакции ЭЭГ у детей с нарушением рецептивной речи, тогда как прослушивание не подкрепленных видеорядом слов, по-видимому, обрабатывалось детьми в этой группе менее активно.

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. Как и в общей группе детей дошкольного возраста, в группе сравнения, где большинство детей – дошкольники, наблюдалась тета-синхронизация в момент предъявления стимула. Предположительно, у детей дошкольного возраста, ввиду менее развитых процессов произвольного контроля, автоматически происходили процессы припоминания подходящих по смыслу слов в тот же момент, а иногда и раньше, чем начинали звучать неправильные по смыслу слова. Несоответствие припоминаемого и звучащего слова вызывало повторную активацию процессов извлечения слов из памяти. В группе детей с нарушением рецептивной речи не регистрируется подобная ранняя тета-синхронизация, а различия в тета-синхронизации достигают уровня статистической значимости в большинстве отведений. При этом регистрируются различия в тета-реакциях и с большим латентным периодом в лобных, центральных, теменных и височных отведениях. Предположительно, отсутствие выраженной многократной синхронизации тета-активности отражает нарушение или невозможность извлечения слов из рабочей памяти и лежит в основе нарушению понимания смысла предложения с ошибками.

Наиболее выраженные реакции в группе детей с нарушением рецептивной речи наблюдались во время слухового восприятия псевдослов в предложении –

наблюдалась более выраженная по сравнению с группой сравнения тета-синхронизация, локализованная преимущественно в лобных зонах правого полушария. Можно предположить, что дети с нарушением понимания речи, распознав необычное звучание псевдослов, предпринимали более активные попытки извлечения слов из памяти, тогда как типично развивающиеся дети быстро понимали 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. Выявленные результаты требуют дальнейших исследований.

Таким образом, отличия, выявленные в группе детей с сенсорной алалией, можно связать с общим снижением концентрации внимания детей на выполнении вербального задания, изменением процессов активации моторных артикуляционных зон, лексико-семантического поиска и извлечения слов из памяти и их интеграции в целостное предложение.

4.6. Особенности ЭЭГ у детей с задержкой психоречевого развития

В группе детей с ЗПРР показатели фоновой ЭЭГ значимо не отличались от таковых в группе типично развивающих детей. Менее выраженные различия были выявлены и в ситуациях слухового восприятия речи. Так, во время прослушивания слов-существительных в группе детей с ЗПРР наблюдалась синхронизация тета-активности ЭЭГ, наиболее выраженная в лобных отведениях, при этом межгрупповые различия не достигали уровня статистической значимости. Схожие паттерны ЭЭГ во время слухового восприятия слов у детей с ЗПРР и типично развивающихся детей подтверждают, что процесс понимания слов протекает относительно успешно, хоть и с небольшими различиями. Так, у детей с РАС также была выявлена более выраженная по сравнению с типично

развивающимися детьми связанная с пониманием слов синхронизация тета-диапазона ЭЭГ [198].

Во время прослушивания глаголов в правильных по смыслу предложения в группе детей с ЗПРР наблюдалась более выраженная тета-синхронизация в лобных, центральных и теменных зонах, отражающая, вероятно, успешный, но более сложный процесс извлечения слов из памяти. Похожие результаты получены и во время слухового восприятия отдельных слов. Выявлены значимые различия в лобных и центральных отведениях в частотном диапазоне 6-10 Гц: у детей с ЗПРР наблюдается синхронизация, в то время как в группе сравнения – десинхронизация. Активность ЭЭГ в данном частотном диапазоне у детей 6 лет с ЗПРР можно рассматривать как альфа-активность [8, 14]. Так как дети с ЗПРР чаще всего имели сложности с продукцией речи, менее выраженную десинхронизацию альфа-активности в сенсомоторных зонах можно связать с различиями в процессе активации моторных артикуляционных зон в процессе восприятия речи. Более выраженная синхронизация не только тета-, но и альфа-активности в лобных зонах может отражать торможение донных областей во время извлечения слов из памяти [39; 79].

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 и височных зонах левого полушария (как при сравнении группы типично развивающихся детей и детей с сенсорной алалией) выявлено не было. Учитывая успешность выполнения этого задания, можно предположить, что дети с ЗПРР использовали другие стратегии распознавания ошибок в предложении, например, сравнение с шаблоном.

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 6-9 Гц, активность в котором у детей с задержками развития может рассматриваться как альфа-активность, у типично развивающихся детей – как тета-активность, в связи с чем интерпретация данных различий усложняется.

Таким образом, менее выраженные различия в реактивности ЭЭГ во время слухового восприятия отдельных слов и слов в предложениях подтверждают, что процесс понимания слов у детей с ЗПРР протекает относительно успешно, хоть и с небольшими изменениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено экспериментальное исследование реактивности ЭЭГ во время восприятия речи в группах типично развивающихся детей дошкольного и младшего школьного возрастов и дошкольников с нарушением рецептивной речи и задержкой психоречевого развития. Как и предполагалось, процесс восприятия речи сопровождался реакциями в тета-, альфа- и бета-диапазонах ЭЭГ.

Особенностью реактивности ЭЭГ у детей 4-6 лет во время восприятия речи явилась хорошо выраженная десинхронизация в альфа-диапазоне, наблюдающаяся практически во всех отведениях. Можно предположить, что детям этой группы при восприятии речи требуется привлекать больший, чем школьникам, объем соответствующих мозговых ресурсов. Кроме этого, десинхронизация ЭЭГ в альфа- и бета-диапазонах, развивающаяся над двигательными областями коры, может быть связана с более выраженной активацией у дошкольников моторных артикуляционных зон.

У детей 7-10 лет десинхронизация альфа-активности носила менее выраженный характер и была не столь широко представлена в анализируемых отведениях, что позволяет сделать предположение о преимущественном использовании ресурсов достаточно развитого в этом возрасте произвольного внимания. Другой особенностью реактивности ЭЭГ во время восприятия речи у детей школьного возраста является тета-синхронизация, затрагивающая зоны не только левого, но и правого полушария. Дети школьного возраста, по-видимому, в большей степени опирались на механизмы извлечения слов из памяти, отражающиеся в тета- и альфа-синхронизации, тогда как дошкольники могли более активно задействовать моторные артикуляционные зоны для облегчения понимания речи.

У детей с ЗПРР во время восприятия слов 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.

Отсутствие у детей с нарушением рецептивной речи тета-синхронизации и альфа-десинхронизации во время восприятия слов может отражать нарушением процессов лексико-семантического поиска и извлечения слов из памяти, недостаточность активации моторных артикуляционных зон. Стоит отметить, что, в отличие от процесса слухового восприятия отдельных слов, восприятие аудиовидеозаписи вызвало более выраженные и приближенные к норме реакции ЭЭГ у детей с нарушением рецептивной речи, тогда как прослушивание не подкрепленных видеорядом слов, по-видимому, обрабатывались детьми этой группы менее активно.

Наиболее выраженные ЭЭГ-реакции зарегистрированы во время прослушивания глаголов в неправильных по смыслу предложениях: как у типично развивающихся детей дошкольного возраста, так и у школьников наблюдалась многократная синхронизация тета-активности, связанная с активацией слухоречевой рабочей памяти. Более переднее расположение областей с максимальной выраженностью тета-синхронизации у детей школьного возраста может быть связано с возрастными особенностями созревания данных зон. Отсутствие выраженной многократной синхронизации тета-активности у детей с нарушением рецептивной речи отражает сложности извлечения слов из рабочей памяти и лежит в основе нарушения понимания смысла предложения.

При слуховом восприятии псевдослов в предложениях в группе типично развивающихся детей наблюдалась относительно невыраженная синхронизация тета-активности. Можно предположить, что в контексте предложения типично развивающиеся дети быстро определяли неуместность псевдослов и не нуждались в продолжительной активной обработке аудиальной информации. 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, тогда как типично развивающиеся дети быстро понимали 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.

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 существительных.

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. При прослушивании глаголов в неправильных по смыслу предложениях и псевдослов в предложениях наблюдается менее выраженная синхронизация тета-ритма в теменных зонах, отражающая, предположительно, отличия в процессе активации слухоречевой рабочей памяти.

Обнаруженные специфические паттерны ЭЭГ-реакций во время слухового восприятия речи могут использоваться 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.

Полученные результаты указывают на перспективность исследований реактивности ЭЭГ во время слухового восприятия речи у детей с другими видами речевых нарушений, могут быть востребованы 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 с нарушениями речи. 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» [20]).

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 СОКРАЩЕНИЙ

- ЗППР – задержка психоречевого развития
- МКБ – международная классификация болезней
- МРТ – магнитно-резонансная томография
- МЭГ – магнитоэнцефалограмма
- ПБ – Поле Бродмана
- РАС – расстройства аутистического спектра
- ССП – связанные с событиями потенциалы
- СССП – связанные с событиями спектральные пертурбации
- ЦНС – центральная нервная система
- ЭЭГ – электроэнцефалограмма
- ANOVA – analysis of variance (дисперсионный анализ)
- IFG – inferior frontal gyrus (нижняя лобная извилина)
- STG – superior temporal gyrus (верхняя височная извилина)
- STS – superior temporal sulcus (верхняя височная борозда)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Н.Ш. Импрессивная (сенсорная) алалия / Н.Ш. Александрова, О.А. Александрова // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. — 2016. — Т. 116. — № 11. — С. 114.
2. Базанова, О. М. Современная интерпретация альфа-активности ЭЭГ / О. М. Базанова // Международный неврологический журнал. — 2011. — Т. 8, № 46. — С. 96–104.
3. Белалов В. В. Реактивность мю-ритма ЭЭГ при восприятии речи у детей в возрасте от двух до трех с половиной лет: влияние условий воспитания / В. В. Белалов, О. М. Базанова, А. А. Михайлова [и др.] // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. — 2020. — Т. 70, № 2. — С. 193–205.
4. Бобылова М. Ю. Моторная и сенсорная алалия: сложности диагностики / М. Ю. Бобылова, А. А. Капустина, Т. А. Браудо // Русский журнал детской неврологии. — 2017. — Т. 12. — № 4. — С. 32–42.
5. Верхлютов В. М. Вызванная спектральная мощность ЭЭГ при предъявлении псевдослов и слов категорий "живое" и "неживое" / В. М. Верхлютов, И. В. Марьина, В. Б. Стрелец // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. — 2012. — Т. 62, № 5. — С. 553.
6. Визель Т. Г. Об "импрессивном" безречии у детей (теоретический аспект с позиции нейропсихологии) / Т. Г. Визель // Психологические и психоаналитические исследования: Ежегодник 2018–2019. — 2020. — С. 207–221.
7. Выготский Л.С. Мышление и речь / Л.С. Выготский. — М.: Государственное социальноэкономическое изд-во, 1934. — 324 с.
8. Гамирова Р. Г. Особенности электроэнцефалографических изменений у детей с нарушениями речевого развития / Гамирова Р. Г., Белоусова М. В., Уткузова М. А., Зайкова Ф. М. // Вестник современной клинической медицины. — 2014. — Т. 7, № 3. — С. 15–20.

9. Гасанов Р. Ф. Особенности количественной ЭЭГ у детей с гиперкинетическим расстройством / Р. Ф. Гасанов, И. В. Макаров, Д. А. Емелина // Обозрение психиатрии и медицинской психологии имени В.М. Бехтерева. — 2022. — Т. 56. — № 1. — С. 34–42.
10. Давыдова Е. Ю. Особенности понимания речи у младших школьников с РАС и их связь с характеристиками ЭЭГ. Часть I / Е. Ю. Давыдова, К. Р. Салимова, Д. В. Давыдов [и др.] // Физиология человека. — 2023. — Т. 49, № 3. — С. 23–33.
11. Емельянова Т.В. Влияние дисфункции фронто-таламической системы на развитие речи у детей 7-8 лет / Т.В. Емельянова // Журнал медико-биологических исследований. — 2014. — №3. — С. 42–49.
12. Ермаков П. Н. Психофизиологические корреляты решения вербальных задач в ситуации смысловой инициации / П. Н. Ермаков, Е. Г. Денисова // Российский психологический журнал. — 2019. — Т. 16, № 1. — С. 103–127.
13. Ильина М.Н. Психологическая оценка интеллекта у детей / М.Н. Ильина. — Санкт-Петербург : Питер, 2006. — 368 с.
14. Кайда А. И. Особенности ЭЭГ у детей с задержками речевого развития / А. И. Кайда, А. А. Михайлова, Е. В. Эйсмонт, Л. С. Орехова, Л. С. Шепитько // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. — 2019. — Т. 5 (71). — № 3. — С. 12–21.
15. Каладзе Н. Н. Эффективность ЭЭГ с группами цветовых стимулов в диагностике и лечении нарушений речи у детей / Н. Н. Каладзе, О. Н. Рыбалко, Т. А. Вальдхайм // Актуальные вопросы современной науки : Сборник научных статей по материалам II Международной научно-практической конференции, Уфа, 02 июня 2023 года. Том Часть 3. — Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2023. — С. 81–84.

16. Князев Г. Г. Кодирование смысла в активности мозга / Г.Г. Князев // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. — 2022. — Т. 72. — № 6. — С. 800–825.
17. Кропотов Ю. Д. Количественная ЭЭГ, когнитивные вызванные потенциалы и нейротерапия / Ю. Д. Кропотов ; Перевод с английского под редакцией В.А. Пономарева. – Донецк : Издатель Заславский А.Ю., 2010. – 512 с.
18. Лукашевич И. П. Роль поражения субкортикальных отделов мозга при формировании алалии / И. П. Лукашевич, С. М. Попова, В. М. Шкловский // Физиология человека. — 2011. — Т. 37. — № 5. — С. 41.
19. МКБ-10 Международная классификация болезней [Электронный ресурс] / Онлайн классификаторы и справочники КлассИнформ. - Режим доступа: <https://classinform.ru/mkb-10.html>
20. Патент № 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.
21. Русалова М.Н., Русалов В.М. Функциональная асимметрия мозга и эмоции. Руководство по функциональной асимметрии. М. Научный мир. 2009. 521.
22. Станкова Е. П. Морфофункциональные основы анализа сложных предложений у взрослых и детей / Е. П. Станкова, Д. М. Гийемар, Е. И. Гальперина // Физиология человека. — 2020. —Т. 46. — № 3. — С. 111.
23. Станкова Е. П. Эволюция центральных механизмов устной речи / Е. П. Станкова, О. В. Кручинина, А. Н. Шеповальников, Е. И. Гальперина // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. — 2020. — Т. 56. — № 3. — С. 171–184.
24. Степаненко Д. Г. О классификациях нарушения речи в детском возрасте / Д. Г. Степаненко, Э. Ш. Сагутдинова // Клиническая медицина. — 2010. — №. 2. — Р. 32–43.

25. Строганова Т. А. Влияние периодичности и гласности звука на ответы слуховой коры мозга детей / Т. А. Строганова, К. С. Комаров, Д. Е. Гояева, Т.С. Обухова, Т. М. Овсянникова, А. О. Прокофьев, Е. В. Орехова // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. — 2021. — Т. 71. — № 4. — С. 563–577.
26. Трауготт Н.Н., Кайданова С.И. Нарушение слуха при сенсорной алалии и афазии. Л.: Наука, 1975. 179 с.
27. Украинцева Ю. В. Психофизиологическая характеристика лиц с различной стрессоустойчивостью / Ю. В. Украинцева, М. Н. Русалова // Успехи физиол. наук. 2006. – Т. 37, № 2. – С. 19–40.
28. Ушакова, Т. Н. Речь: истоки и принципы развития / Т. Н. Ушакова. – Москва. – Москва : Издательство "Пер Сэ", 2004. – 256 с.
29. Чутко Л. С. Клинические и электроэнцефалографические особенности специфических расстройств речевого развития у детей и оценка эффективности применения Церебролизина / Л. С. Чутко, С. Ю. Сурушкина, Е. А. Яковенко [и др.] // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2015. – Т. 115, № 7. – С. 98–102.
30. Шевченко А. О. Сравнение механизмов фонематического восприятия и внутреннего проговаривания фонем и слогов: ЭЭГ- и фМРТ-исследование / А. О. Шевченко, А. В. Вартанов // Российский психологический журнал. – 2022. – Т. 19, № 4. – С. 186-210.
31. Эльконин Д. Б. К проблеме периодизации психического развития в детском возрасте / Д. Б. Эльконин // Вопросы психологии – 1971. – № 4. – С. 32-39.
32. Alho J. Enhanced early-latency electromagnetic activity in the left premotor cortex is associated with successful phonetic categorization / J. Alho, M. Sato, M. Sams et al. // Neuroimage. — 2012. — Vol. 60. — №4. — P.1937–1946.
33. Antognini K. Toddlers show sensorimotor activity during auditory verb processing / K. Antognini, M.M. Daum // Neuropsychologia. — 2019. — Vol. 126. — P.82-91.

34. Arévalo A.L. What do brain lesions tell us about theories of embodied semantics and the human mirror neuron system? / A.L. Arévalo., J.V. Baldo, N.F. Dronkers // *Cortex*. — 2012. — Vol. 48. — № 2. — P. 242–254.
35. Arsenault J. S. Distributed Neural Representations of Phonological Features during Speech Perception / J. S. Arsenault, B. R. Buchsbaum // *J Neurosci*. — 2015. — Vol. 35. — P. 634–42.
36. Baddeley A. Working memory: looking back and looking forward / A. Baddeley // *Nat. Rev. Neurosci*. — 2003. — Vol. 4. — P. 829–839.
37. Bastiaansen M. Frequency-based Segregation of Syntactic and Semantic Unification during Online Sentence Level Language Comprehension / M. Bastiaansen, P. Hagoort // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2015. — Vol.27. — № 11. — P. 2095-2107.
38. Bastiaansen M. Oscillatory neuronal dynamics during language comprehension / M. Bastiaansen, P. Hagoort // *Progress in Brain Research*. — 2006. — Vol.159. — P. 179-196.
39. Bastiaansen M. Theta responses are involved in lexico-semantic retrieval during language processing / M. Bastiaansen, M. Van der Linden, M. ter Keurs, T. Dijkstra, P. Hagoort // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2005. — Vol. 17. — P. 530–541.
40. Bastiaansen M.C. Syntactic unification operations are reflected in oscillatory dynamics during on-line sentence comprehension / M.C. Bastiaansen, L. Magyari, P. Hagoort // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2010. — Vol. 22. — P. 1333–1347.
41. Bazanova O.M. Interpreting EEG alpha activity / O.M. Bazanova, D. Vernon // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. — 2014. — Vol. 44. — P. 94-110.
42. Beese C. Age Differences in Encoding-Related Alpha Power Reflect Sentence Comprehension Difficulties / C. Beese, B. Vassileiou, A.D. Friederici, L. Meyer // *Frontiers in Aging Neuroscience*. — 2019. — Vol. 11. — P. 183.

43. Bell M. A. Using EEG to study cognitive development: Issues and practices / M. A. Bell, K. Cuevas // *Journal of Cognition and Development*. — 2012. — Vol. 13(3). — P. 281–294.
44. Bornkessel I. Who did what to whom? The neural basis of argument hierarchies during language comprehension / I. Bornkessel, S. Zysset, A. D. Friederici, D. Y. von Cramon, M. Schlesewsky // *Neuroimage*. — 2005. — Vol. 26(1). — P. 221–33.
45. Bornkessel-Schlesewsky I. Word order and Broca's region: evidence for a supra-syntactic perspective / I. Bornkessel-Schlesewsky, M. Schlesewsky, D.Y. von Cramon // *Brain Lang*. — 2009. — Vol. 111(3). — P. 125–39.
46. Bornkessel-Schlesewsky I. Neurobiological roots of language in primate audition: common computational properties / I. Bornkessel-Schlesewsky, M. Schlesewsky, S. L. Small, J. P. Rauschecker // *Trends Cogn Sci*. — 2015. — Vol. 19(3). — P. 142–50.
47. Bowers A. Suppression of the μ rhythm during speech and non-speech discrimination revealed by independent component analysis: implications for sensorimotor integration in speech processing / A. Bowers, T. Saltuklaroglu, A. Harkrider, M. Cuellar // *PLoS One*. — 2013. — Vol. 8(8). — P. e72024.
48. Brauer J. Functional neural networks of semantic and syntactic processes in the developing brain / J. Brauer, A.D. Friederici // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2007. — Vol. 19. — № 10. — P. 1609–1623.
49. Burchinal M. School-entry skills predicting school-age academic and social–emotional trajectories / M. Burchinal, T.J. Foster, K.G. Bezdek et al. // *Early Childhood Research Quarterly*. — 2020. — Vol. 51. — P. 67.
50. Caplan D. Verbal working memory and sentence comprehension / D. Caplan, G.S. Waters // *Behavioral and Brain Sciences*. — 1999. — Vol. 22. — P. 77–94.
51. Cashdollar N. Hippocampus-dependent and -independent theta-networks of active maintenance / N. Cashdollar, U. Malecki, F. J. Rugg-Gunn, J. S. Duncan, N.

Lavie, E. Duzel // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2009. — Vol. 106. — P. 20493–20498.

52. Cavanagh J. F. Theta lingua franca: a common mid-frontal substrate for action monitoring processes / J. F. Cavanagh, L. Zambrano-Vazquez, J. J. Allen // *Psychophysiology*. — 2012. — Vol. 49(2). — P. 220-38.

53. Chang E. F. Categorical speech representation in human superior temporal gyrus. *Nat Neurosci* / E. F. Chang, J. W. Rieger, K. Johnson, M. S. Berger, N. M. Barbaro, R.T. Knight // 2010. — Vol. 13(11). — P. 1428-32.

54. Chen Y. Modulation of alpha and beta oscillations during an n-back task with varying temporal memory load / Y. Chen, X. Huang // *Frontiers in Psychology*. — 2016. — Vol. 6. — P. 2031.

55. Cheyne D. O. MEG studies of sensorimotor rhythms: A review / D. O. Cheyne // *Experimental Neurology*. — 2013. — Vol. 245. — P. 27–39.

56. Cohen L. Distinct unimodal and multimodal regions for word processing in the left temporal cortex / L. Cohen, A. Jobert, D. Le Bihan, S. Dehaene // *Neuroimage*. 2004. — Vol. 23. — P. 1256–1270.

57. Craig A. R. Randomization tests as alternative analysis methods for behavior-analytic data / A. R. Craig, W. W. Fisher // *J Exp Anal Behav*. — 2019. — Vol. 111(2). — P. 309–328.

58. Cristia A. Predicting individual variation in language from infant speech perception measures / A. Cristia, A. Seidl, C. Junge, M. Soderstrom, P. Hagoort // *Child Dev*. — 2014. — Vol. 85. — P. 1330–1345.

59. de Munck J.C. Interactions between different EEG frequency bands and their effect on alpha-fMRI correlations / J. C. de Munck, S. I. Gonçalves, R. Mammoliti, R. M. Heethaar, F. H. Lopes da Silva // *NeuroImage*. — 2009. — Vol. 47 (1). — P. 69–76.

60. Deiber M.-P. Distinction between Perceptual and Attentional Processing in Working Memory Tasks: A Study of Phase-locked and Induced Oscillatory Brain Dynamics./ M.-P. Deiber, P. Missonnier, O. Bertrand, G. Gold, L. Fazio-Costa, V.

Ibañez, P. Giannakopoulos // *Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2007. — Vol. 19(1). — P. 158–172.

61. DeWitt I. Phoneme and word recognition in the auditory ventral stream / I. DeWitt, J. P. Rauschecker // *Proc Natl Acad Sci USA*. — 2012. — Vol. 109(8). — P. E505-14.

62. Donoghue T. Methodological considerations for studying neural oscillations / T. Donoghue, N. Schaworonkow, B. Voytek // *European Journal of Neuroscience*. — 2022. — Vol. 55(11–12). — P. 3502–3527.

63. Doppelmayr M. Intelligence related upper alpha desynchronization in a semantic memory task / M. Doppelmayr, W. Klimesch, K. Hödlmoser, P. Sauseng, W. Gruber // *Brain Res. Bull.* — 2005. — Vol. 66. — P. 171–177.

64. Doppelmayr M. EEG alpha power and intelligence / M. Doppelmayr, W. Klimesch, W. Stadler, D. Pöllhuber, C. Heine // *Intelligence*. — 2002. — Vol. 30. — P. 289–302.

65. Erickson M. A. Alpha-band desynchronization reflects memory-specific processes during visual change detection / M. A. Erickson, D. Smith, M. A. Albrecht, S. Silverstein // *Psychophysiology*. — 2019. — 56(11). — P. e13442

66. Fadiga L. Speech listening specifically modulates the excitability of tongue muscles: a TMS study / L. Fadiga // *European Journal of Neuroscience*. — 2002. — №15. — P.399–402.

67. Fatić S. Electroencephalography correlates of word and non-word listening in children with specific language impairment: An observational study / S. Fatić, N. Stanojević, M. Stokić, V. Nenadović, L. Jeličić, R. Bilibajkić, A. Gavrilović, S. Maksimović, T. Adamović, M. Subotić // *Medicine (Baltimore)*. — 2022. — 101(46). — P. e31840.

68. Fellner M.C. Brain oscillatory subsequent memory effects differ in power and long-range synchronization between semantic and survival processing / M.C. Fellner, K.H. Bäuml, S. Hanslmayr // *Neuroimage*. — 2013. — Vol. 79. — P. 361-370.

69. Ference J. The ability to map differentially stressed labels to objects predicts language development at 24 months in 12-month-olds at high risk for autism / J. Ference, S. Curtin // *Infancy*. — 2015. — Vol. 20. — P. 242–262.

70. Fernald A. Individual differences in lexical processing at 18 months predict vocabulary growth in typically developing and late-talking toddlers / A. Fernald, V.A. Marchman // *Child Development*. — 2012. — Vol. 83. — P. 203–222.

71. Fiebach C. J. Revisiting the role of Broca's area in sentence processing: syntactic integration versus syntactic working memory / C. J. Fiebach, M. Schlesewsky, G. Lohmann, D. Y. von Cramon, A. D. Friederici // *Hum Brain Mapp*. — 2005. — Vol. 24(2). — P. 79-91.

72. Foxe J. Parieto-occipital 10 Hz activity reflects anticipatory state of visual attention mechanisms / J. Foxe, G. Simpson, S. Ahlfors // *NeuroReport*. — 1998. — Vol. 9. — P. 3929–3933.

73. Friederici A.D. Maturation of the language network: from inter-to intrahemispheric connectivities / A.D. Friederici, J. Brauer, G. Lohmann // *PLoS One*. — 2011. — Vol. 6. — P. e20726.

74. Friederici A.D. The brain basis of language processing: from structure to function / A.D. Friederici // *Physiological Reviews*. — 2011. — Vol. 91(4). — P.1357-1392.

75. Friederici A.D. The role of left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: localizing syntactic and semantic processes / A.D. Friederici, S.A. Rüschemeyer, A. Hahne, C.J. Fiebach // *Cerebral Cortex*. — 2003. — Vol. 13(2). — P.170-177.

76. Friederici A. D. White-matter pathways for speech and language processing / A. D. Friederici // *Handb. Clin. Neurol*. — 2015. — V. 129. — P. 177.

77. Gastaldon S. Commonalities in alpha and beta neural desynchronizations during prediction in language comprehension and production / S. Gastaldon, G. Arcara, E. Navarrete, F. Peressotti // *Cortex*. — 2020. — Vol. 133. — P. 328-345.

78. Geiser E. The neural correlate of speech rhythm as evidenced by metrical speech processing / E. Geiser, T. Zaehle, L. Jancke, M. Meyer // *J Cogn Neurosci.* — 2008. — Vol. 20(3). — P. 541-52.

79. Gray R. Working-Memory, Alpha-Theta Oscillations and Musical Training in Older Age: Research Perspectives for Speech-on-speech Perception / R. Gray, A. Sarampalis, D. Başkent, E. E. Harding // *Front Aging Neurosci.* — 2022. — Vol. 14. — P. 806439.

80. Grent-'t-Jong, T. Oscillatory dynamics of response competition in human sensorimotor cortex / T. Grent-'t-Jong, R. Oostenveld, O. Jensen, W. P. Medendorp, P. Praamstra // *NeuroImage.* — 2013. — Vol. 83. — P. 27–34.

81. Griffiths T.D. The planum temporale as a computational hub / T.D. Griffiths, J.D. Warren // *Trends in Neurosciences.* — 2002. — Vol. 25(7). — P. 348-353.

82. Herweg N.A. Theta Oscillations in Human Memory / N.A. Herweg, E.A. Solomon, M.J. Kahana // *Trends in Cognitive Sciences.* — 2020. — Vol. 24(3). P. 208-227.

83. Hickok G. Neural basis of speech perception / G. Hickok, D. Poeppel // *Handb Clin Neurol.* — 2015. — Vol. 129. — P. 149-60.

84. Hickok G. Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans / G. Hickok // *J Cogn Neurosci.* — 2009. — Vol. 21. — P. 1229–43.

85. Hinterberger T. Decreased electrophysiological activity represents the conscious state of emptiness in meditation / T. Hinterberger, S. Schmidt, T. Kamei, H. Walach // *Front Psychol.* — 2014. — Vol. 5. — P. 99.

86. Holland S. K. Functional MRI of language lateralization during development in children / S. K. Holland, J. Vannest, M. Mecoli, L. M. Jacola, J. M. Tillema, P. Karunanayaka, V. J. Schmithorst, W. Yuan, E. Plante, A. W. Byars // *International Journal of Audiology.* — 2007. — Vol. 46(9). — P. 533–551.

87. Itthipuripat S. Frontal theta is a signature of successful working memory manipulation / S. Itthipuripat, J. R. Wessel, A. R. Aron // *Exp Brain Res.* — 2013. — Vol. 224(2). — P. 255-62.
88. Jacobs J. EEG oscillations and recognition memory: theta correlates of memory retrieval and decision making / J. Jacobs, G. Hwang, T. Curran, M. J. Kahana // *Neuroimage.* — 2006. — Vol. 32(2). P. 978-87.
89. Jasper H. Electrocorticograms in man: effect of voluntary movement upon the electrical activity of the precentral gyrus / H. Jasper, W. Penfield // *Arch Psychiatry Zeitschr Neurol.* — 1949. — Vol. 83. — P. 163–174.
90. Jensen O. Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: gating by inhibition / O. Jensen, A. Mazaheri // *Frontiers in Human Neuroscience.* — 2010. — Vol. 4. — P. 186-193.
91. Jenson D. Temporal dynamics of sensorimotor integration in speech perception and production: independent component analysis of EEG data / D. Jenson, A. L. Bowers, A. W. Harkrider, D. Thornton, M. Cuellar, T. Saltuklaroglu // *Front Psychol.* — 2014. — Vol. 5. — P. 656.
92. Jenson D. The Application of EEG Mu Rhythm Measures to Neurophysiological Research in Stuttering / D. Jenson, A. L. Bowers, D. Hudock, T. Saltuklaroglu // *Front Hum Neurosci.* — 2020. — Vol. 13. — P. 458.
93. Jiang Z. Event-related theta oscillatory substrates for facilitation and interference effects of negative emotion on children's cognition / Z. Jiang, A.C. Waters, Y. Liu et al. // *International Journal of Psychophysiology.* — 2017. — Vol. 116. — P. 26.
94. Johnsrude I.S. Functional imaging of the auditory system: the use of positron emission tomography / I.S. Johnsrude, A.L. Giraud, R.S. Frackowiak // *Audiology and Neurotology.* — 2002. — Vol. 7. — P. 251–276.
95. Jones E. J. H. Parent-delivered early intervention in infants at risk for ASD: Effects on electrophysiological and habituation measures of social attention / E. J. H. Jones, G. Dawson, J. Kelly, A. Estes, S. J. Webb // *Autism Res.* — 2017. — Vol. 10(5).

— P. 961-972.

96. Jones S. R. When brain rhythms aren't 'rhythmic': implication for their mechanisms and meaning / S. R. Jones // *Current Opinion in Neurobiology*. — 2016. — Vol. 40. — P. 72–80.

97. Jones E. J. H. Infant EEG theta modulation predicts childhood intelligence / E. J. H. Jones, A. Goodwin, E. Orekhova, T. Charman, G. Dawson, S. J. Webb, M. H. Johnson // *Scientific Reports*. — 2020. — Vol. 10(1). — P. 11232.

98. Keshishian M. Joint, distributed and hierarchically organized encoding of linguistic features in the human auditory cortex / M. Keshishian, S. Akkol, J. Herrero, S. Bickel, A. D. Mehta, N. Mesgarani // *Nat Hum Behav*. — 2023. — Vol. 7(5). — P. 740-753.

99. Khanna P. Beta band oscillations in motor cortex reflect neural population signals that delay movement onset / P. Khanna, J. M. Carmena // *Elife*. — 2017. — Vol. 6. — P. e24573.

100. Klimesch W. EEG alpha oscillations: the inhibition-timing hypothesis / W. Klimesch, P. Sauseng, S. Hanslmayr // *Brain Res Rev*. — 2007. — Vol. 53(1). — P. 63-88.

101. Klimesch W. Theta band power changes in normal and dyslexic children. / W. Klimesch, M. Doppelmayr, H. Wimmer, J. Schwaiger, D. Röhm, W. Gruber, F. Hutzler // *Clinical Neurophysiology*. — 2001. — Vol. 112(7). — P.1174-1185.

102. Klimesch W. α -band oscillations, attention, and controlled access to stored information / W. Klimesch // *Trends Cogn Sci*. — 2012. — Vol. 16(12). — P. 606-17.

103. Klimesch W. EEG-alpha rhythms and memory processes / W. Klimesch // *Int. J. Psychophysiol*. — 1997. — Vol. 26. — P. 319–340.

104. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis / W. Klimesch // *Brain Res. Rev*. — 1999. — Vol. 29. — P. 169–195.

105. Klimesch W. Interindividual differences in alpha and theta power reflect memory performance / W. Klimesch, F. Vogt, M. Doppelmayr // *Intelligence*. — 2000.

— Vol. 27. — P. 347–362.

106. Knight, R.T. Escape from linear time: prefrontal cortex and conscious experience / R. T. Knight, M. Grabowecky // In: Gazzaniga, M.S. (Ed.), *The Cognitive Neurosciences*. MIT Press, Cambridge, MA. — 1995. — P. 1357–1371.

107. Knyazev G.G. Motivation, emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations / G.G. Knyazev// *Neuroscience Biobehavioral Reviews*. — 2007. — Vol. 31. — № 3. — P. 377.

108. Kozhushko N.J. Specificity of spontaneous EEG associated with different levels of cognitive and communicative dysfunctions in children / N.J. Kozhushko, Z.V. Nagornova, S.A. Evdokimov [et al.] // *International Journal of Psychophysiology*. — 2018. — Vol. 128. — P. 22–30.

109. Kuhl P. K. Infants' brain responses to speech suggest analysis by synthesis / P. K. Kuhl, R. R. Ramírez, A. Bosseler, J. F. Lin, T. Imada // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2014. — Vol. 111(31). — P.11238-11245.

110. Kuhl P. K. Early speech perception and later language development: Implications for the ‘critical period / P. K. Kuhl, B. T. Conboy, D. Padden, T. Nelson, J. Pruitt // *Lang. Learn. Dev.* — 2005. — Vol. 1. — P. 237–264.

111. Lam K. J. Making sense: motor activation and action plausibility during sentence processing / K. J. Lam, M. C. Bastiaansen, T. Dijkstra, S. A. Rueschemeyer // *Language, Cognition and Neuroscience*. — 2017. — Vol. 32(5). — P. 590–600.

112. Lam N. H. I. Neural activity during sentence processing as reflected in theta, alpha, beta, and gamma oscillations / N. H. I. Lam, J. M. Schoffelen, J. Uddén, A. Hultén, P. Hagoort // *NeuroImage*. — 2016 — Vol.142. — P.43–54.

113. Lankinen K. Role of articulatory motor networks in perceptual categorization of speech signals: a 7T fMRI study / K. Lankinen, J. Ahveninen, I. Uluç, M. Daneshzand, A. Mareyam, J. E. Kirsch, J. R. Polimeni, B. C. Healy, Q. Tian, S. Khan, A. Nummenmaa, Q. M. Wang, J. R. Green, T. J. Kimberley, S. Li // *Cereb Cortex*. — 2023. — Vol. 33(24). — P. 11517-11525.

114. Laufs H. EEG-correlated fMRI of human alpha activity / H. Laufs, A.

Kleinschmidt, A. Beyerle, E. Eger, A. Salek-Haddadi, C. Preibisch, K. Krakow // *NeuroImage*. — 2003. — Vol. 19 (4). — P. 1463–1476.

115. Lewis A.G. A predictive coding perspective on beta oscillations during sentence-level language comprehension / A.G. Lewis, J.M. Schoffelen, H. Schriefers, M. Bastiaansen // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2016. — Vol. 10. — P. 85.

116. Lewis A.G. Fast oscillatory dynamics during language comprehension: Unification versus maintenance and prediction? / A.G. Lewis, L. Wang, M. Bastiaansen // *Brain Lang*. — 2015 — Vol. 148. — P. 51-63.

117. Lidzba K. Language comprehension vs. language production: age effects on fMRI activation. *Brain and Language* / K. Lidzba, E. Schwilling, W. Grodd, I. Krägeloh-Mann, M. Wilke // 2011. — Vol. 119(1). — P, 6–15.

118. Liebenthal E. An interactive model of auditory-motor speech perception / E. Liebenthal, R. Möttönen // *Brain and Language*. — 2018. — № 187. — P.33-40.

119. Lundqvist M. Gamma and beta bursts underlie working memory / M. Lundqvist, J. Rose, P. Herman, S. L. Brincat, T. J. Buschman, E. K. Miller // *Neuron*. 2016. — Vol. 90. — P. 152–164.

120. Lyakso E.E. Speech Features and Electroencephalogram Parameters in 4- to 11-Year-Old Children / E.E. Lyakso, O. Frolova, Y. Matveev // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. — 2020. — Vol. 14. — P.30.

121. Maguire M.J. Temporal and topographical changes in theta power between middle childhood and adolescence during sentence comprehension / M.J. Maguire, J.M. Schneider, T.C. Melamed et al. // *Developmental Cognitive Neuroscience*. — 2022. — Vol. 53. — P. 101056.

122. Maris E. Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data / E. Maris, R. Oostenveld // *J Neurosci Methods*. — 2007. — Vol. 164(1). — P. 177–90.

123. Meyer L. Left parietal alpha enhancement during working memory-intensive sentence processing / L. Meyer, J. Obleser, A.D. Friederici // *Cortex*. — 2013. — Vol. 49(3). — P.711-271.

124. Meyer L. Frontal-posterior theta oscillations reflect memory retrieval during sentence comprehension / L. Meyer, M. Grigutsch, N. Schmuck, P. Gaston, A.D. Friederici // *Cortex*. — 2015. — Vol. 71. — P. 205-218.
125. Miller E. K. Working memory 2.0 / E. K. Miller, M. Lundqvist, A. M. Bastos // *Neuron*. — 2018. — Vol. 100. — P. 463–475.
126. Mollica F. Composition is the Core Driver of the Language-selective Network / F. Mollica, M. Siegelman, E. Diachek, S.T. Piantadosi, Z. Mineroff, R. Futrell, H. Kean, P. Qian, E. Fedorenko // *Neurobiology of Language*. — 2020. — Vol. 1(1). — P.104-134.
127. Momsen J. Developmental differences in EEG oscillations supporting the identification of novel word meaning from context / J. Momsen, J. M. Schneider, A. D. Abel // *Dev Cogn Neurosci*. — 2022. — Vol. 58. — P. 101185.
128. Moosmann M. Correlates of alpha rhythm in functional magnetic resonance imaging and near infrared spectroscopy / M. Moosmann, P. Ritter, I. Krastel, A. Brink, S. Thees, F. Blankenburg, A. Villringer // *NeuroImage*. — 2003. — Vol. 20(1). — P. 145–158.
129. Moreno I. Understanding action language modulates oscillatory mu and beta rhythms in the same way as observing actions / I. Moreno, M. De Vega, I. León // *Brain and cognition*. — 2013. — Vol. 82(3). — P. 236–242.
130. Moreno I. Brain dynamics in the comprehension of action-related language. A time-frequency analysis of mu rhythms / I. Moreno, M. De Vega, I. León, M. Bastiaansen, A. G. Lewis, L. Magyari // *NeuroImage*. — 2015. — Vol. 109. — P. 50–62.
131. Moretti D. V. Theta and alpha EEG frequency interplay in subjects with mild cognitive impairment: Evidence from EEG, MRI, and SPECT brain modifications / D. V. Moretti // *Frontiers in Aging Neuroscience*. — 2015. — Vol. 7. — P. 31.
132. Murakami T. Left dorsal speech stream components and their contribution to phonological processing / T. Murakami, C. A. Kell, J. Restle, Y. Ugawa, U. Ziemann // *J Neurosci*. — 2015. — 35(4). — P. 1411-22.

133. Nasios G. From Broca and Wernicke to the Neuromodulation Era: Insights of Brain Language Networks for Neurorehabilitation / G. Nasios, E. Dardiotis, L. Messinis // *Behav Neurol.* — 2019. — Vol. 2019. — P. 9894571.
134. Nasrawi R. Planning the Potential Future during Multi-item Visual Working Memory / R. Nasrawi, F. van Ede // *Journal of Cognitive Neuroscience.* — 2022. — Vol. 34(8). — P. 1534–1546.
135. Nunez P. L. *Electric Fields of the Brain: The neurophysics of EEG* / P. L. Nunez, R. Srinivasan. — New York: Oxford Academic, 2006. — P. 626.
136. Obleser J. Multiple stages of auditory speech perception reflected in event-related FMRI / J. Obleser, J. Zimmermann, J. Van Meter, J.P. Rauschecker // *Cerebral Cortex.* — 2007. — Vol. 17. — P. 2251–2257.
137. Obleser J. Suppressed alpha oscillations predict intelligibility of speech and its acoustic details / J. Obleser, N. Weisz // *Cereb Cortex.* — 2012. — Vol. 22(11). — P. 2466-77.
138. Oldfield R.C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh Inventory / R.C. Oldfield // *Neuropsychologia* — 1971. — Vol. 9. — P. 97–113.
139. Oliveira D. S. Mu rhythm dynamics suggest automatic activation of motor and premotor brain regions during speech processing / D.S. Oliveira, T. Saltuklaroglu, D. Thornton, D. Jenson, A.W. Harkrider, M.B. Rafferty, D.M. Casenhiser // *Journal of Neurolinguistics.* — 2021. — Vol. 60. — P.101006.
140. Orekhova E. V. EEG theta rhythm in infants and preschool children / E. V. Orekhova, T. A. Stroganova, I. N, Posikera, M. Elam // *Clinical Neurophysiology.* 2006. — Vol. 117. — P. 1047–1062.
141. Orekhova E. V. Different hemispheric lateralization for periodicity and formant structure of vowels in the auditory cortex and its changes between childhood and adulthood / E. V. Orekhova, K. A. Fadeev, D. E. Goiaeva, T. S. Obukhova, T. M. Ovsiannikova, A. O. Prokofyev, T. A. Stroganova // *Cortex.* — 2024. — Vol. 171. — P. 287-307.
142. Overath T. From acoustic to linguistic analysis of temporal speech

structure: Acousto-linguistic transformation during speech perception using speech quilts / T. Overath, J. H. Paik // *Neuroimage*. — 2021. — Vol. 235. — P. 117887.

143. Panda E. J. EEG phase synchronization during semantic unification relates to individual differences in children's vocabulary skill / E.J. Panda, Z. Emami, T.A. Valiante, E.W. Pang // *Developmental Science*. — 2021. — Vol. 24(1). — P.e12984.

144. Pavlov Y. G. Oscillatory brain activity and maintenance of verbal and visual working memory: A systematic review / Y. G. Pavlov, B. Kotchoubey // *Psychophysiology*. — 2022 — Vol. 59(5). — P. e13735.

145. Pavlova A. Learning of new associations invokes a major change in modulations of cortical beta oscillations in human adults / A. Pavlova, N. Tyulenev, V. Tretyakova [et al.] // *Psychophysiology*. — 2023. — Vol. 60, No. 8. — P. e14284.

146. Perone S. Age-related change in brain rhythms from early to middle childhood: Links to executive function / S. Perone, J. Palanisamy, S.M. Carlson // *Developmental Science*. — 2018. — Vol. 21(6). — P.e12691.

147. Pesonen M. Brain oscillatory 1-30 Hz EEG ERD/ERS responses during the different stages of an auditory memory search task / M. Pesonen, C. H. Björnberg, H. Hämäläinen, C. M. Krause // *Neurosci Lett*. — 2006. — Vol. 399(1-2). — P. 45-50.

148. Pfurtscheller G. Functional brain imaging based on ERD/ERS / G. Pfurtscheller // *Vision Res*. — 2001. — Vol. 41. — P. 1257–1260.

149. Prystauka Y. The power of neural oscillations to inform sentence comprehension: a linguistic perspective / Y. Prystauka, A. G. Lewis // *Lang Linguist Compass*. — 2019. — Vol. 13(9). — P. e12347.

150. Pulvermüller F. Active perception: sensorimotor circuits as a cortical basis for language / F. Pulvermüller, L. Fadiga // *Nature Reviews Neuroscience*. — 2010. — Vol.11. — P. 351–360.

151. Pulvermuller F. Functional links between motor and language systems / F. Pulvermuller, O. Hauk, V. V. Nikulin, R. J. Ilmoniemi // *Eur J Neurosci*. — 2005. — Vol. 21. — P. 793–797.

152. Schmid R. G. Correlation of developmental neurological findings with

spectral analytical EEG evaluations in pre-school age children / R.G. Schmid, W.S. Tirsch, P. Reitmeir, // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* — 1997. — Vol. 103. — P. 516–527.

153. Rodriguez-Larios J. Genuine beta bursts in human working memory: controlling for the influence of lower-frequency rhythms / J. Rodriguez-Larios, S. Haegens // *bioRxiv [Preprint]*. — 2023 — P. 542448.

154. Rogalsky C. Broca's area, sentence comprehension, and working memory: an fMRI Study / C. Rogalsky, W. Matchin, G. Hickok // *Frontiers in Human Neuroscience*. — 2008. — Vol. 2. — P. 14.

155. Rogalsky C. The role of Broca's area in sentence comprehension / C. Rogalsky, G. Hickok // *The Journal of Cognitive Neuroscience*. — 2011. — Vol. 23. — P. 1664–1680.

156. Rommers J. Alpha and theta band dynamics related to sentential constraint and word expectancy / J. Rommers, D. S. Dickson, J. J. S. Norton, E. W. Wlotko, K. D. Federmeier // *Lang Cogn Neurosci*. — 2017. — Vol. 32(5). — P. 576-589.

157. Roux F. Working memory and neural oscillations: Alpha-gamma versus theta-gamma codes for distinct WM information? / F. Roux, P. J. Uhlhaas // *Trends Cogn. Sci.* — 2014. — Vol. 18. — P. 16–25.

158. Salenius, S. Reactivity of magnetic parieto-occipital alpha rhythm during visual imagery / S. Salenius, M. Kajola, W. Thompson, S. Kossly, R. Hari // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* — 1995. — Vol. 95. — P. 453–462.

159. Saltuklaroglu T. EEG mu rhythms: Rich sources of sensorimotor information in speech processing / T. Saltuklaroglu, A. Bowers, A.W. Harkrider et al. // *Brain and Language*. — 2018. — Vol. 187. — P. 41.

160. Sauseng P. EEG alpha synchronization and functional coupling during top-down processing in a working memory task / P. Sauseng, W. Klimesch, M. Doppelmayr, T. Pecherstorfer, R. Freunberger, S. Hanslmayr // *Human Brain Mapping*. — 2005. — Vol. 26(2). — P.148-155.

161. Sauseng P. A shift of visual spatial attention is selectively associated with

human EEG alpha activity / P. Sauseng, W. Klimesch, W. Stadler, M. Schabus, M. Doppelmayr, S. Hanslmayr, W. R. Gruber, N. Birbaumer // *Eur. J. Neurosci.* — 2005. — Vol. 22. — P. 2917–2926.

162. Schacter D. L. EEG theta waves and psychological phenomena: a review and analysis / D. L. Schacter // *Biol. Psychol.* — 1977. — Vol. 5. — P. 47–83.

163. Schmidt R. Beta Oscillations in Working Memory, Executive Control of Movement and Thought, and Sensorimotor Function / R. Schmidt, R. M. Herrojo, B. E. Kilavik, M. Lundqvist, P. A. Starr, A. R. Aron // *J Neurosci.* — 2019. — Vol. 39(42). — P. 8231-8238.

164. Schneider J. Developmental differences in the neural correlates supporting semantics and syntax during sentence processing / J. Schneider, M. Maguire // *Developmental Science.* — 2019. — Vol. 22(4). — P. e12782

165. Schneider J.M. Neural oscillations reveal differences in the process of word learning among school-aged children from lower socioeconomic status backgrounds / J.M. Schneider, A.D. Abel, J. Momsen et al. // *Neurobiology of Language.* — 2021. — Vol. 2. — № 3. — P. 372.

166. Schneider J.M. Developmental differences in the neural oscillations underlying auditory sentence processing in children and adults / J.M. Schneider, A.D. Abel, D.A. Ogiela, C. McCord, J.M. Maguire // *Brain and Language.* — 2018. — Vol. 186. — P.17–25.

167. Schneider J. M. Developmental differences in beta and theta power during sentence processing / J. M. Schneider, A. D. Abel, D. A. Ogiela, A. E. Middleton, M. J. Maguire // *Dev Cogn Neurosci.* — 2016. — Vol. 19. — P. 19-30.

168. Scott S. K. A little more conversation, a little less action--candidate roles for the motor cortex in speech perception / S. K. Scott, C. McGettigan, F. Eisner // *Nat Rev Neurosci.* — 2009. — Vol. 10(4). — P. 295-302.

169. Segaert K. Binding language: structuring sentences through precisely timed oscillatory mechanisms / K. Segaert, A. Mazaheri, P. Hagoort // *European Journal of Neuroscience.* — 2018. — Vol. 48(7). — P.2651-2662.

170. Smalle E.H. Dissociating Contributions of the Motor Cortex to Speech Perception and Response Bias by Using Transcranial Magnetic Stimulation / E.H. Smalle, J. Rogers, R. Mottonen // *Cerebral Cortex*. — 2015. — Vol. 25. — № 10. — P.3690–3698.
171. Smith E. E. Storage and executive processes in the frontal lobes / E.E. Smith, J. Jonides // *Science*. — 1999. — Vol. 283. — P.1657–1661.
172. Smith E. E. Frontal theta and posterior alpha in resting EEG: A critical examination of convergent and discriminant validity / E. E. Smith, C. E. Tenke, P. J. Deldin, M. H. Trivedi, M. M. Weissman, R. P. Auerbach, G. E. Bruder, D. A. Pizzagalli, J. Kayser // *Psychophysiology*. — 2020. — 57(2). — P. e13483.
173. Spironelli C. Developmental aspects of language lateralization in delta, theta, alpha and beta EEG bands / C. Spironelli, A. Angrilli // *Biological Psychology*. — 2010. — Vol. 85(2). — P. 258-267.
174. Spitzer B. Beyond the Status Quo: A Role for Beta Oscillations in Endogenous Content (Re)Activation / B. Spitzer, S. Haegens // *eNeuro*. — 2017. Vol. 4(4). — P. ENEURO.0170-17.2017.
175. Stanojevic N. Resting-state EEG alpha rhythm spectral power in children with specific language impairment: a cross-sectional study / N. Stanojevic, S. Fatic, L. Jelacic, V. Nenadovic, M. Stokic, R. Bilibajkic, M. Subotic // *J Appl Biomed*. — 2023. — Vol. 21(3). — P. 113-120.
176. Strauß A. Alpha and theta brain oscillations index dissociable processes in spoken word recognition / A. Strauß, S. A. Kotz, M. Scharinger, J. Obleser // *Neuroimage*. — 2014. — 97. — P. 387-95.
177. Strijkstra A. M. Subjective sleepiness correlates negatively with global Alpha (8-12 Hz) and positively with central frontal theta (4–8 Hz) frequencies in the human resting awake electroencephalogram / A. M. Strijkstra, D. G. Beersma, B. Drayer, N. Halbesma, S. Daan // *Neurosci. Lett*. — 2003. — Vol. 340. — P. 17–20
178. Strotseva-Feinschmidt A. Young children's sentence comprehension: Neural correlates of syntax-semantic competition / A. Strotseva-Feinschmidt, C. S.

Schipke, T. C. Gunter, J. Brauer, A. D. Friederici // *Brain and Cognition*. — 2019. — Vol. 134. — P.110-121.

179. Swann N. Intracranial EEG reveals a time- and frequency-specific role for the right inferior frontal gyrus and primary motor cortex in stopping initiated responses / N. Swann, N. Tandon, R. Canolty, T. M. Ellmore, L. K. McEvoy // *J Neurosci*. — 2009. — Vol. 29. — P. 12675–12685.

180. Tarailis P. Data-Driven EEG Theta and Alpha Components Are Associated with Subjective Experience during Resting State / P. Tarailis, F. M. De Blasio, D. Simkute, I. Griskova-Bulanova // *J Pers Med*. — 2022. — Vol. 12(6). — P. 896.

181. Thornton D. Sensorimotor activity measured via oscillations of EEG mu rhythms in speech and non-speech discrimination tasks with and without segmentation demands / D. Thornton, A.W. Harkrider, D. Jenson, T. Saltuklaroglu // *Brain and Language*. — 2018. — № 187. — P. 62-73.

182. Tincoff R. Six-Month-Olds Comprehend Words That Refer to Parts of the Body / R. Tincoff, P.W. Juszyk // *Infancy*. — 2012. — Vol. 17(4). — P.432-444.

183. Uddén J. Supramodal Sentence Processing in the Human Brain: fMRI Evidence for the Influence of Syntactic Complexity in More Than 200 Participants / J. Uddén, A. Hultén, J. M. Schoffelen, N. Lam, K. Harbusch, G. van den Bosch, G. Kempen, K. M. Petersson, P. Hagoort // *Neurobiology of Language*. — 2022. — Vol. 3(4). — P.575-598.

184. Valleau M. J. An Eye-Tracking Study of Receptive Verb Knowledge in Toddlers / M.J. Valleau, H. Konishi, R.M. Golinkoff, K. Hirsh-Pasek, S. Arunachalam // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. — 2018. — Vol. 61(12). — P. 2917-2933.

185. van Elk M. The functional role of motor activation in language processing: motor cortical oscillations support lexical-semantic retrieval / M. van Elk, H. T. van Schie, R. A. Zwaan, H. Bekkering // *Neuroimage*. — 2010. — Vol. 50. — №. 2. — P. 665–677.

186. Vassileiou B. Alignment of alpha-band desynchronization with syntactic structure predicts successful sentence comprehension / B. Vassileiou, L. Meyer, C. Beese, A. D. Friederici // *Neuroimage*. — 2018. — Vol. 175. — P.286–296.

187. Vigneau M. What is right-hemisphere contribution to phonological, lexicosemantic, and sentence processing? / M. Vigneau, V. Beaucoisin, P.-Y. Hervé, G. Jobard, L. Petit, F. Crivello, E. Mellet, L. Zago, B. Mazoyer, N. Tzourio-Mazoyer // *NeuroImage*. — 2011. — Vol. 54. — № 1. — P. 577–93.

188. Vogt F. High frequency components in the alpha band and memory performance / F. Vogt, W. Klimesch, M. Doppelmayr // *J. Clin. Neurophysiol.* — 1998. — Vol.15. — № 2. — P. 167–172.

189. Walenski M. Neural networks for sentence comprehension and production: An ALE-based meta-analysis of neuroimaging studies / M. Walenski, E. Europa, D. Caplan et al. // *Human Brain Mapping*. — 2019. — Vol. 40. — № 8. — P. 2275–2304.

190. Wang L. Beta oscillations relate to the N400m during language comprehension / L. Wang, O. Jensen, D. van den Brink, N. Weder, J. M. Schoffelen, L. Magyari, P. Hagoort, M. Bastiaansen // *Hum Brain Mapp.* — 2012. — Vol. 33. — № 12. — P. 2898–912.

191. Wang L. Oscillatory brain dynamics associated with the automatic processing of emotion in words / L. Wang, M. Bastiaansen // *Brain and Language*. — 2014. — Vol. 137. — P. 120–129.

192. Wessel J. R. Chronometric electrical stimulation of right inferior frontal cortex increases motor braking. / J. R. Wessel, C. R. Conner, A. R. Aron, N. Tandon // *J Neurosci*. — 2013. — Vol. 33. — P. 19611–19619.

193. Wilson S. M. Listening to speech activates motor areas involved in speech production / S. M. Wilson, A. P. Saygin, M. I. Sereno, M. Iacoboni // *Nat Neurosci*. — 2004 — Vol. 7. — P. 701–702.

194. Wisniewski M.G. EEG power spectral dynamics associated with listening in adverse conditions / M.G. Wisniewski, A.C. Zakrzewski, D.R. Bell, M. Wheeler // *Psychophysiology*. — 2021. — Vol. 58. — № 9. — P. e13877.

195. Worden M. Anticipatory biasing of visuospatial attention indexed by retinotopically specific alpha-band electroencephalography increases over occipital cortex / M. Worden, J. Foxe, N. Wang, G. Simpson, // *J. Neurosci.* — 2000. — Vol. 20. — № 6. — P. RC63.
196. Wöstmann M. Tracking the signal, cracking the code: Speech and speech comprehension in non-invasive human electrophysiology / M. Wöstmann, L. Fiedler, J. Obleser // *Language, Cognition and Neuroscience.* — 2016. — Vol. 32. — P. 1–15.
197. Wöstmann M. The Human Neural Alpha Response to Speech is a Proxy of Attentional Control / M. Wöstmann, S. J. Lim, J. Obleser // *Cereb Cortex.* — 2017 — Vol. 27. — № 6. — P. 3307–3317.
198. You Y. MEG Theta during Lexico-Semantic and Executive Processing Is Altered in High-Functioning Adolescents with Autism / Y. You, A. Correias, R.J. Jao Keehn et al. // *Cerebral Cortex.* — 2021. — Vol. 31. — № 2. — P. 1116.
199. Zaehle T. Segmental processing in the human auditory dorsal stream / T. Zaehle, E. Geiser, K. Alter, L. Jancke, M. Meyer // *Brain Res.* — 2008. — Vol. 1220. — P. 179–90.
200. Zavala B. A. Human subthalamic nucleus activity during non-motor decision making / B. A. Zavala, A. I. Jang, K. A. Zaghloul // *Elife.* — 2017 — Vol. 6. — P. e31007.
201. Ziegler J. C. Deficits in speech perception predict language learning impairment / J. C. Ziegler, C. Pech-Georgel, F. George, F.-X. Alario, C. Lorenzi // *Proc. Natl. Acad. Sci.* — 2005. — Vol. 102. — P. 14110–14115.