

на правах рукописи

Цапарина Диана Михайловна

**ОТРАЖЕНИЕ ПРОЦЕССОВ РЕЧЕМЫСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА
РАЗНЫХ ЯЗЫКОВЫХ УРОВНЯХ В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА**

03.00.13 – Физиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург - 2007.

Работа выполнена в Институте эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН
(директор – член-корреспондент РАН Н.П. Веселкин)

Научный руководитель:

доктор биологических наук, профессор
Михаил Николаевич Цицерошин

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук, профессор
Татьяна Владимировна Черниговская

кандидат биологических наук
Ольга Петровна Траченко

Ведущее научное учреждение:

**Институт физиологии им. И.П. Павлова
РАН, Санкт-Петербург.**

Защита состоится 16 января 2007 г. в ____ часов на заседании Диссертационного совета (Д 002.127.01) при Институте эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова РАН по адресу: 194223, Санкт-Петербург, пр. Мориса Тореза, 44.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М.Сеченова.

Автореферат разослан 15 декабря 2006 г.

Ученый секретарь Диссертационного Ученого совета,
доктор биологических наук, профессор

М.Н. МАСЛОВА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Изучение центральных механизмов организации речевых функций относится к числу важнейших вопросов науки о мозге. Речевая функция человека филогенетически сформировалась последней и поэтому является легко ранимой функцией. Существенное расширение методических возможностей, в частности использование позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) убедительно продемонстрировало широкое представительство центров, обеспечивающих различные аспекты вербальной и невербальной речевой деятельности не только в «классических зонах» Вернике и Брока, но и практически во всех отделах наружной и внутренней поверхности коры как левого, так и правого полушария [Бехтерева и др. 2000]. Находит убедительное подтверждение мнение П.К.Анохина [1966], что мозг человека во всех его деталях приспособлен именно к речевым мыслительным операциям. Однако, пространственно распределенная система, обеспечивающая взаимодействие дистантно разобщенных структур требует строгой упорядоченности, а для исследования закономерностей обеспечения межцентрального взаимодействия необходим адекватный подход. Таким методическим подходом правомерно считать анализ пространственно-временных отношений колебаний биопотенциалов мозга [Ливанов, 1962, 1972, 1983; Бехтерева, 1974; Шеповальников и др., 1979; Свицерская, 1983; Шеповальников, Цицерошин, 1999; Иваницкий и др., 2000; Цицерошин и др. 2000].

Проблема взаимодействия первой и второй сигнальных систем стоит на стыке интересов многих наук. В ее разработке заинтересованы философы, лингвисты, нейрофизиологи. Прикладные аспекты этой проблемы связаны с решением актуальных задач медицины и педагогики. Целенаправленная медико-педагогическая коррекция речевых расстройств будет более эффективной, если удастся в возможно полной мере опираться на знание закономерностей церебрального обеспечения процессов анализа и синтеза речевых сигналов.

Речевая деятельность как высшая психическая функция мозга обеспечивается посредством системного взаимодействия обоих полушарий на разных уровнях. Имеются достижения в исследовании локальных процессов, связанных с активацией определенных полей коры при чтении отдельных слов, при запоминании текста и понимании его смысла [Воробьев и др., 2002]. Еще в 1989г. Ojemann et al. при электростимуляции коры во время хирургического вмешательства также выявили корковые зоны, связанные с языковой деятельностью, которые были расположены за пределами классических нервных центров. С помощью ПЭТ было показано, что языковая деятельность (как пассивная, так и активная) требует участия многих корковых полей, расположенных на внешней и внутренней поверхностях обоих полушарий [Posner, Raichle, 1994; Воробьев и др., 1998]. За обработку речевых сигналов ответственны не только различные корковые поля, но и многие глубокие структуры мозга [Воробьев и др., 1998, Miceli et al., 2002, Бехтерева, 2003; Friederici et al., 2003; Sakai, 2005]. Особую важность представляет дифференцированное исследование нейрофизиологических механизмов лежащих в основе контроля за речевосприятием и речепродукцией грамматической, семантической, фонетической составляющих вербального сигнала. Обнадеживающие результаты, полученные при исследовании в этом направлении [Suppes et al., 1997, 1998], позволяют с оптимизмом оценивать корректность подобной постановки задачи.

В работах [Шеповальников и др., 1991; Цицерошин и др., 2000; Шеповальников, Цицерошин, 2004] было показано, что при выполнении таких вербально-мнестических заданий как счет в уме, прослушивание стихотворения и его воспоминание выявляется возрастание межполушарных статистических взаимосвязей ЭЭГ задних отделов коры левого полушария с колебаниями биопотенциалов в передних отделах правого. Подобного вида «диагональный» тип межполушарного взаимодействия был описан при вербально-мнестической деятельности также

и в некоторых других работах [Павлова и Романенко, 1988; Иваницкий и др., 2002; Данько и др., 2005].

Открытым остается, однако, вопрос о специфическом вкладе каждой из гемисфер в осуществление различных сторон речевой деятельности, в частности при опознании ошибок в вербальном материале, при реализации синтетических процессов, когда из отдельных фонем формируются слова, а из слов - предложения. Заслуживает внимания также исследование изменений межцентральных взаимодействий, сопровождающих процессы синтеза речевых единиц, процессы порождения целостного речевого высказывания, в том числе процессы смыслового наполнения и грамматического структурирования фразы.

Цели и задачи исследования

Цель нашей работы состояла в изучении нейрофизиологических механизмов, лежащих в основе вербально-мнестической деятельности, связанной с анализом воспринимаемого на слух вербального материала и с мысленным синтезом сложных речевых единиц из составляющих их более элементарных.

Задачи исследования:

1. Исследование изменений внутриполушарных и межполушарных взаимодействий биопотенциалов коры при выполнении испытуемыми анализа воспринимаемого на слух вербального материала – при опознании фонем в предъявляемых на слух словах, опознании грамматических либо семантических ошибок в предложениях.

2. Для уточнения мозговой организации нейрофизиологических процессов обеспечения вербально-мнестических функций в рамках поставленной цели исследования планировалось изучить изменения пространственной организации межцентрального взаимодействия в коре больших полушарий, связанных с опознанием испытуемыми различных невербальных шумовых сигналов.

3. Исследование формирования у детей 5-6 лет и 8-9 лет структуры межполушарного взаимодействия при речевой деятельности, связанной с анализом предъявляемого на слух вербального материала: фонематическом анализе и опознании ошибок в предложениях.

4. Изучение особенностей системной деятельности мозга в процессе выполнения испытуемыми синтеза речевых единиц из составляющих их элементарных - при мысленном составлении слов из набора предъявляемых на слух фонем и при составлении предложений из набора слов.

5. Исследование реорганизации пространственных когерентных отношений колебаний биопотенциалов мозга, протекающих в основных частотных диапазонах ЭЭГ, при выполнении испытуемыми заданий, связанных с анализом речевого материала и с мысленным синтезом речевых единиц.

Научная новизна результатов исследования

При исследовании изменений пространственной структуры дистантных связей ЭЭГ, происходящих в процессе выполнения взрослыми испытуемыми и детьми 5-6 и 8-9 лет сложных лингвистических заданий, были выявлены специфические особенности системного взаимодействия кортикальных полей обоих полушарий.

Впервые выявлены черты сходства и различия в пространственной структуре биопотенциального поля мозга при опознании испытуемыми фонем в словах, грамматических или семантических ошибок в предъявляемых на слух предложениях и показано существенное усиление межполушарного взаимодействия, преимущественно между височными отделами обоих полушарий.

На основании когерентного анализа ЭЭГ описана пространственная структура статистических взаимодействий в основных диапазонах частот колебаний ЭЭГ при выполнении испытуемыми заданий аналитического характера. При опознании фонем в словах,

грамматических и семантических ошибок в предложениях наибольшее сходство с пространственной структурой изменений корреляционных связей суммарной ЭЭГ было выявлено в дельта и тета-диапазонах. В свою очередь в альфа-диапазоне было показано наибольшее усиление когерентных связей ЭЭГ в передних отделах коры обоих полушарий. Своеобразный паттерн был выявлен в бета-диапазоне с усилением когерентных связей ЭЭГ преимущественно правой средневисочной области с отделами контрлатерального полушария.

Новыми следует считать данные о наличии у детей дошкольного и младшего школьного возраста сравнительно высокого уровня зрелости нейрофизиологических механизмов, лежащих в основе обеспечения процессов фонематического анализа, в то время как, механизмы центрального обеспечения процессов опознания грамматически некорректных фраз и семантически ошибочных предложений, судя по результатам исследования структуры межрегионального взаимодействия биопотенциалов коры мозга, еще не вполне сформированы.

При анализе результатов выполнения трех видов фонематических заданий - опознания фонем в контексте предъявляемых слов, фонематического синтеза слов и при мысленной актуализации слов с заданной фонемой, - впервые установлены специфические различия в пространственной организации поля биопотенциалов головного мозга.

Впервые установлено, что при выполнении вербальных тестов синтетического характера - составление слов и предложений из предъявленных на слух фонем и слов соответственно, - происходит существенное усиление межполушарного взаимодействия корковых полей, при незначительной активации ипсилатеральных взаимодействий. Наиболее выраженные изменения контрлатеральных связей ЭЭГ характерны для височных отделов обоих полушарий (включая зону Вернике), зон ТРО, нижнелобных и затылочных отделов.

Показано, что при выполнении испытуемыми синтеза слов и предложений максимальные изменения когерентных связей ЭЭГ были выражены в бета- и дельта-диапазонах частот. Наиболее ярко при обоих заданиях, особенно при фонематическом синтезе, во всех основных частотных диапазонах ЭЭГ проявлялась активация функциональных взаимосвязей зоны Вернике с другими областями мозга

Основные положения, выносимые на защиту

1. Выполнение сложной вербально-мнестической деятельности, связанной с анализом воспринимаемого на слух вербального материала и синтезом сложных речевых единиц из составляющих их более элементарных, требует совместной высоко координированной деятельности обоих полушарий, прежде всего, височных и нижне-лобных отделов, с не переменным, но дифференцированным, участием классических «речевых центров» левого полушария, в несколько большей мере - зоны Вернике.

2. Активация межполушарных взаимодействий височных отделов обоих полушарий при выполнении заданий на опознание фонем в словах и грамматических и семантических ошибок в воспринимаемом на слух речевом материале может быть одним из необходимых механизмов системной организации деятельности мозга, лежащей в основе обеспечения вербально-мнестической деятельности аналитического характера. При этом одновременно происходит актуализация и межцентральных взаимодействий, имеющих отношение к функциональной системе, ответственной за процесс опознания не только вербальных, но и других звуковых стимулов.

3. У детей дошкольного и младшего школьного возраста выявляются элементы незрелости нейрофизиологических механизмов обеспечения таких аспектов речевой функции, как грамматическое оформление речевого высказывания и смысловое наполнение фразы. В то же время в эти возрастные периоды нейрофизиологические механизмы, лежащие в основе обеспечения адекватного восприятия фонем в словах проявляют сравнительно высокий уровень зрелости.

4. Выполнение испытуемыми заданий по образованию речевых единиц из составляющих их более элементарных сопровождается высокой взаимосвязанностью биоэлектрической активности отделов коры левого и правого полушарий. Как при выполнении синтеза слов из набора фонем, так и при составлении семантически связанных предложений из набора предъявляемых на слух слов, происходит усиление межполушарного взаимодействия корковых полей, при незначительной активации ипсилатеральных взаимосвязей потенциалов. При этих заданиях в структуре происходящих изменений межполушарных связей ЭЭГ выявляется «зеркальная симметричность»: при фонематическом синтезе слов - с преобладанием левого полушария, а при составлении предложений из слов – с преобладанием правого. И в том, и в другом случае наиболее выраженные изменения контрлатеральных связей ЭЭГ характерны для височных отделов (включая зону Вернике), зон ТРО, нижнелобных и затылочных отделов обоих полушарий.

Теоретическое и практическое значение работы

Результаты проведенных исследований имеют теоретическое значение для понимания нейрофизиологических процессов, лежащих в основе обеспечения вербально-мнестической деятельности на разных языковых уровнях. При исследовании изменений пространственной структуры дистантных связей ЭЭГ, происходящих при выполнении взрослыми испытуемыми и детьми 5-6 и 8-9 лет сложных лингвистических заданий (с использованием корреляционного и когерентного анализов многоканальной ЭЭГ) были выявлены специфические особенности системного взаимодействия кортикальных полей обоих полушарий.

Наряду с выявлением генерализованного усиления системного взаимодействия левого и правого полушарий при опознании фонем в словах, грамматических и семантических ошибок были выявлены топические особенности, уточняющие функциональное значение отдельных корковых зон и их дистантного взаимодействия при выполнении вербальных тестовых заданий, связанных с процессами анализа акустически предъявляемого речевого материала. Усиление межполушарных взаимодействий височных отделов обоих полушарий при выполнении этих заданий может быть одним из необходимых механизмов системной организации деятельности мозга, лежащей в основе обеспечения вербально-мнестической деятельности аналитического характера. При этом были выявлены межрегиональные взаимодействия, имеющие отношение к функциональной системе, ответственной за процесс опознания не только вербальных, но и других звуковых стимулов. В организации деятельности этой функциональной системы особую роль могут играть дистантные межполушарные связи нижнелобных и височных отделов правого полушария.

Особый интерес могут представлять данные, отражающие специфические особенности реорганизации пространственно-временных отношений колебаний биопотенциального поля мозга при выполнении различных фонематических заданий, в частности, при опознании фонем в контексте предъявляемых слов, при синтезе слов из фонем, а также при мысленной актуализации слов с заданной фонемой.

Существенный теоретический и практический интерес представляют сведения о выявлении у детей дошкольного и младшего школьного возраста элементов незрелости нейрофизиологических механизмов обеспечения таких аспектов речевой функции, как грамматическое оформление речевого высказывания и смысловое наполнение фразы и о наличии в эти возрастные периоды сравнительно высокого уровня зрелости нейрофизиологических механизмов, лежащих в основе обеспечения адекватного восприятия фонем в словах.

Полученные результаты могут быть полезны как нормативные данные для уточнения диагностики локальных неврологических нарушений при речевых расстройствах у детей и взрослых с учетом особенностей межцентральной организации системной деятельности мозга

при реализации речевой функции на разных уровнях языка. Целенаправленная медико-педагогическая коррекция может быть более эффективной при познании закономерностей становления у детей центральных механизмов, лежащих в основе обеспечения процессов анализа и синтеза речевых сигналов, с учетом представлений о системной организации целостной деятельности мозга человека как обязательном условии для реализации речевых функций.

Апробация работы

Материалы диссертации представлялись на XXX Всероссийском совещании по проблемам высшей нервной деятельности, посвященное 150-летию со дня рождения И.П. Павлова (Санкт-Петербург, 2000), на Международной конференции, посвященной 55-летию Института возрастной физиологии РАО (Москва, 2000), на II Российской конференции молодых ученых России с международным участием «Фундаментальные науки и прогресс клинической медицины» (Москва, 2001), на XVIII Всероссийском Съезде Физиологического Общества им. И.П. Павлова (Казань, 2001), на II конференции Украинского товарищества нейронаук, посвященного 70-летию кафедры физиологии (Донецк, 2001), на молодежной конференции «Мозг и поведение», посвященной 50-летию кафедры ВНД и психофизиологии СПбГУ (Санкт-Петербург, 2001), in 31th Annual Meeting Society of Neuroscience (Washington, 2001), на Пятой Всероссийской медико-биологической конференции молодых исследователей «Человек и его здоровье» (Санкт-Петербург, 2002), на международной конференции «Проблемы интеграции функций в физиологии и медицине» (к 100-летию юбилею присуждения Нобелевской премии академику И.П. Павлову), (Республика Беларусь, Минск, 2004), на Всероссийской конференции молодых исследователей «Физиология и медицина» (Санкт-Петербург, 2005), на IV школе-конференции «Физиология слуха и речи» (Санкт-Петербург, 2005).

Публикации.

Основное содержание диссертации изложено в 13 работах, включая 2 статьи в рецензируемых журналах: «Сенсорные системы», 2004. Т. 18. № 2. С. 160. – 169; «Физиология человека», 2007. № 1. Т. 33. С. 1-12.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания методики, результатов исследования, их обсуждения, выводов, списка литературы из ... отечественных и ...зарубежных источников. Работа изложена на ... страницах машинописного текста, иллюстрирована ...рисунками и содержит ... таблиц.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В различных сериях наблюдений с использованием методов многопараметрического анализа ЭЭГ было обследовано 18 здоровых взрослых испытуемых в возрасте от 22 до 35 лет, 15 детей 5-6 лет и 17 детей 8-9 лет. Все испытуемые правши. ЭЭГ регистрировали на 24-канальном компьютерном электроэнцефалографе с полосой пропускания - 0.5 - 30 Гц. Ввод сигналов в компьютер осуществлялся с частотой квантования 185 в секунду по каждому из каналов. Применяли 20 монополярных отведений. В качестве референтного использовали объединенные электроды на мочках ушей. 16 электродов из 20 располагались по международной схеме 10-20 симметрично в передне-лобных (Fp1, Fp2), задне-лобных (F3, F4), нижне-лобных (F7, F8), центральных (C3, C4), средне-височных (T3, T4), задне-височных (T5, T6), теменных (P3, P4), и затылочных областях (O1, O2). Для более детального анализа роли височных областей в осуществлении речевой функции дополнительно устанавливали 4 электрода - в передне-височных областях (T1, T2), и в зонах ТРО, т.е. в зонах перекрытия височной, теменной и затылочной областей (TP1, TP2). ЭЭГ регистрировали непрерывно, как в

фоновом состоянии испытуемых (состояние бодрствования с закрытыми глазами), так и при выполнении тестовых заданий, в положении лежа в звукоизолированной и затемненной камере.

Использовали следующие задания.

1. Опознание грамматической ошибки в предъявляемых на слух предложениях.

Испытуемому бинаурально через наушники предъявлялись предложения как содержащие грамматическую ошибку, так и не содержащие ее. В стимульном материале, содержащем ошибку, присутствовали грамматические ошибки связей согласования, грамматические ошибки связей управления. Предложения, содержащие ошибку случайным образом чередовались с предложениями грамматически нормативными. Испытуемый должен был нажимать на кнопку только в том случае, если в предъявленном предложении присутствовала ошибка.

2. Опознание семантической ошибки в предъявляемых на слух предложениях.

Испытуемому бинаурально через наушники предъявлялись предложения как содержавшие семантическую ошибку, так и не содержавшие ее. В стимульном материале были представлены следующие виды семантических ошибок: ошибки в логико-грамматических конструкциях, отражающих временную последовательность событий, ошибки в логико-грамматических конструкциях, отражающих причинно-следственные связи, логико-грамматические конструкции, содержащие семантический парадокс. Семантически нормативные предложения случайным образом чередовались с предложениями, содержащими ошибку. Испытуемый должен был нажимать на кнопку только в том случае, если в предъявленном предложении присутствовала ошибка.

3. Фонематический анализ - опознание заданного звука в контексте слова.

Испытуемому бинаурально через наушники предъявлялся на слух ряд слов, как содержавших, так и не содержавших заданный звук. Речевой материал представлял собой набор существительных единственного числа в именительном падеже и был сбалансирован по звукослоговой структуре. Заданный звук находился в предъявляемых словах в разных позициях. Испытуемый должен был нажимать на кнопку только в том случае, если в предъявленном слове присутствовал заданный звук.

4. Составление слов из предъявляемых на слух звуков (фонематический синтез).

Испытуемому бинаурально через наушники предъявлялись в случайном порядке 4-5 фонем русского языка. Необходимо было составить из этих звуков 2 слова (существительных). Например: испытуемому предъявлялся ряд фонем: «у», «а», «к», «р». Из них он должен был составить слова: «кура», «рука». Затем предъявлялся следующий ряд звуков, и т.п. до 5-6 пар слов.

5. Составление предложений из предъявляемого в случайном порядке набора слов в начальной форме. Например, испытуемому предъявляли слова: «кость», «дорога», «собака», «большой», «находить». Испытуемый должен был составить осмысленное предложение, придавая данным словам необходимое грамматическое оформление и при необходимости добавляя служебные слова. Затем предъявлялся следующий ряд слов, и т.п. до 20 предложений. Запись ЭЭГ производили как в период предъявления звуков и слов, так и в процессе составления испытуемым слов и предложений.

6. Фонематические представления (мысленная актуализация семантического поля слов с заданным звуком). Испытуемому акустически предъявлялся определенный звук, в ответ на который он должен был мысленно вспомнить максимальное количество слов, содержащих этот звук. Например, задавался звук <с>, испытуемый мысленно «актуализировал» слова: стол, слон, хвост, нос и т.д., нажимая на кнопку при воспоминании каждого слова. Длительность теста составляла около 2 минут.

7. Опознание заданного шумового сигнала среди ряда других невербальных звуков. Испытуемому бинаурально через наушники предъявлялся набор невербальных шумов. Были использованы такие виды звуков, как шум электробритвы, звонок будильника, стук молотка,

скрип двери, шум дождя и т.п. Одна разновидность шума избиралась в качестве эталонного сигнала, остальные 8-9 использовались для дифференцировки. Нажатием на кнопку испытуемый должен был реагировать на появление только эталонного стимула.

Каждое тестовое задание выполнялось испытуемым в течение одного экспериментального наблюдения 2-3 раза с переменной содержания стимульного материала.

На протяжении всего обследования каждые 4 с ("стандартная эпоха анализа") вычисляли матрицы (размерностью 20x20) коэффициентов кросскорреляции (КК) между ЭЭГ от всех отведений попарно. Одновременно для каждой эпохи анализа вычисляли матрицы когерентности (Ког) в основных частотных диапазонах – дельта, тета, альфа, бета. С этой целью для каждой пары из 20 отведений ЭЭГ последовательно проводили следующие вычислительные операции: а) вычислялись автоковариационные и кроссковариационные функции; б) после сглаживания функций определяли с помощью быстрого преобразования Фурье соответствующие значения автоспектров, кросс-спектра и функции когерентности в диапазоне частот от 0.5 до 30.0 Гц с шагом 0.5 Гц; в) для каждой пары анализируемых отведений определяли средние значения для основных диапазонов частот колебаний ЭЭГ: дельта – 0.5 – 3.5 Гц, тета – 4.0 – 7.5 Гц, альфа – 8.0 – 12.5 Гц, бета, - 13.0 – 30.0 Гц. Полученные средние значения функции когерентности для каждой пары отведений затем объединяли в матрицы Ког (20x20) для каждого из диапазонов. Таким образом, для каждой эпохи анализа вычисляли 5 матриц, одну матрицу кросскорреляции и 4 матрицы Ког. Для обеспечения статистической достоверности результатов по этим алгоритмам у каждого из испытуемых в отдельном исследуемом состоянии (как в фоне, так и при тестовых заданиях) производили обработку от 30 до 80 эпох анализа ЭЭГ, не содержащих артефактов. В результате общая длительность анализируемых периодов ЭЭГ, соответствующих определенному виду деятельности у каждого из испытуемых, колебалась от 2 до 5 минут.

С целью выявления статистически однородных участков ЭЭГ в пределах исследуемого состояния с помощью иерархического агломеративного кластерного анализа* проводили сопоставление статистического сходства матриц корреляции ЭЭГ, соответствующих всем отдельным 4-х секундным эпохам анализа в тестируемом и фоновом состояниях у каждого испытуемого. Из дальнейшего статистического анализа исключались те матрицы КК ЭЭГ, которые по статистическим характеристикам в фоне и при тестируемой деятельности достоверно не различались между собой. Такой метод позволяет избежать влияния на результаты экспериментального наблюдения кратковременных изменений однородности функционального состояния испытуемого.

Поэлементные значения зарегистрированных корреляционных и когерентных матриц многоканальной ЭЭГ подвергали усреднению как в пределах изучаемых функциональных состояний, так и по группе испытуемых. Вычисляли средние значения и дисперсию КК и Ког ЭЭГ из которых формировали матрицы, размерностью 20 x 20. При всех операциях с коэффициентами корреляции и когерентности применяли z-преобразование Фишера.

Для оценки изменений, происходящих при выполнении тестовых заданий, в организации дистантных связей ЭЭГ, производили количественное сопоставление матриц средних значений КК и Ког ЭЭГ, соответствующих тестовому заданию, и матриц, соответствующих фоновому состоянию. Это производили с помощью операции поэлементного вычитания числовых значений элементов матриц КК и Ког ЭЭГ, усредненных в пределах фонового состояния спокойного бодрствования, из числовых значений элементов матриц, соответствующих тестовым заданиям.

Таким образом, формировали разностные матрицы КК и Ког ЭЭГ, элементы которых отражали изменения пространственной организации ЭЭГ, выявляющиеся при различных заданиях. В каждой ячейке разностных матриц оценивали достоверность изменений КК и Ког ЭЭГ, характерных для тестовых заданий, по критерию t-Стьюдента (при $p \leq 0.05$) по отношению к значениям КК и Ког ЭЭГ в фоновом состоянии.

* методика и программа разработаны ст.н.с. ИЭФБ РАН к.б.н. Погосьяном А.А.

Для построения "эквипотенциальных" карт - "мэппингов" средних изменений дистантного взаимодействия биопотенциалов для каждого из отведений ЭЭГ производили усреднение по столбцу разностных матриц КК и Ког ЭЭГ с учетом знака изменений. Таким образом, определяли среднюю (по всем 19 связям данной зоны коры с остальными) величину изменений дистантного взаимодействия ЭЭГ в данной зоне с учетом знака изменений по отношению к результатам, полученным в фоновом состоянии. По этим величинам строили графики и карты-мэппинги. Построение карт осуществляли с учетом пространственного градиента отображаемых параметров, обеспечивая оптимальную форму интерполирующей поверхности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ литературных данных показывает, что реализация речевых функций требует вовлечения в деятельность многих отделов коры обоих полушарий. В литературе появляется все больше данных о совместной и взаимодополняющей роли обоих полушарий в процессе осуществления речевой функции [Лурия, 1979; Симерницкая, 1985; Галунов и др., 1988; Черниговская, 1989; Балонов и др. 1999; Mesulam, 1999; Leff A. et al., 2002; Friederici et al., 2003; Frakowiak et al., 2004]. Последовательные стадии обработки речевой информации и определенные когнитивные задачи, решаемые испытуемым, вовлекают и различные уровни и зоны мозга, подтверждая концепцию А.Р.Лурия [1979] о динамической локализации психических функций. Однако различные виды вербально-мнестической деятельности приводят (по данным ЭЭГ) к специфической и статистически значимой реорганизации связей между биоэлектрической активностью дистантно разобщенных отделов коры больших полушарий.

В первой серии наших исследований производилась дифференцированная оценка особенностей изменений внутрислоушарных и межполушарных взаимодействий биопотенциалов коры при анализе взрослыми испытуемыми и детьми 5-6 и 8-9 лет различных характеристик воспринимаемых на слух вербальных сигналов: фонетической, морфологической, синтаксической, лексической либо семантической.

При выполнении взрослыми испытуемыми фонематического анализа- опознания заданной фонемы в контексте предъявляемых на слух слов, изменения пространственной структуры межрегионального взаимодействия биопотенциалов коры (по сравнению с фоновым состоянием спокойного бодрствования) происходили повсеместно в сторону увеличения статистических связей ЭЭГ в различных отделах как левого, так и правого полушарий. Максимальные изменения были характерны для дистантных связей ЭЭГ средневисочного отдела правого полушария и несколько менее для зоны Брока и височных отделов левого полушария. Степень статистического сходства колебаний биопотенциалов средневисочного отдела правого полушария в особой мере усиливалась с теми отделами левого полушария, которые традиционно связаны с речевой функцией - зоны Брока и Вернике. Существенно, что наблюдаемые увеличения статистических связей ЭЭГ носили в основном контрлатеральный характер, при незначительном количестве ипсилатеральных связей. Таким образом, при выполнении, испытуемыми фонематического анализа, выявляется усиление парной деятельности обоих полушарий при малом количестве изменений ипсилатеральных связей ЭЭГ.

При выполнении испытуемыми опознания грамматических и семантических ошибок в предъявляемых на слух предложениях, происходят характерные изменения пространственной структуры межрегионального взаимодействия различных отделов коры со значительно более выраженным усилением межполушарного взаимодействия, особенно височных долей обоих полушарий, при весьма небольших изменениях уровня корреляционных связей ЭЭГ в пределах каждого из полушарий (рис.1). В обоих случаях усиливались билатерально-симметричные связи между ЭЭГ височных долей полушарий (т.е. между ЭЭГ Т3'-Т4', Т3-Т4, Т5-Т6) и межполушарные

связи ЭЭГ правой средне-височной зоны (Т4) с ЭЭГ нижнелобных и височных отделов левого полушария, включая зоны Брока (F7) и Вернике (Т5).

Данные ряда авторов, полученные с помощью ЯМР - сканирования, указывают, что процессы, связанные с грамматическими задачами активируют в большей мере нижнелобные и височные отделы коры левого полушария. Так Gabriele M. с соавт. [2002] было показано, что грамматическая задача определения рода «активизировала» области левой средней и нижней лобной извилин и левой средней и нижней височной, а по данным Friederici A. D. с соавт. [2003] в процесс реагирования на синтаксические некорректные предложения «вовлекались» левая передняя височная извилина, и левая задне-лобная, смежная с областью Брока. Suzuki K. с соавт. [2003] при исследовании с помощью ЯМР эксплицитной и имплицитной синтаксической деятельности при предъявлении нормативных и ненормативных предложений показали, что процессы обработки эксплицитной информации в синтаксической деятельности вызывают активацию в левой нижней лобной извилине. По данным, полученным Nagoort P., Kutas M. [1995] с помощью анализа потенциалов, связанных с событиями, тот из компонентов ВП, который оказался чувствительным к синтаксически неправильному завершению предложения (т.е. грамматической ошибке) обнаруживал максимум в левой лобно-передневисочной области.

Подчеркнем, однако, что при выполнении задания по обнаружению семантических ошибок в предъявляемых на слух предложениях выявились и определенные отличия от результатов, полученных при анализе заданий на опознание грамматических ошибок. При опознании семантических ошибок в большей мере, чем при опознании грамматических, усиливаются дистантные связи ЭЭГ зоны Брока, изменения которых по отношению к фону становятся максимальными, как и значения изменений КК ЭЭГ для зоны Вернике.

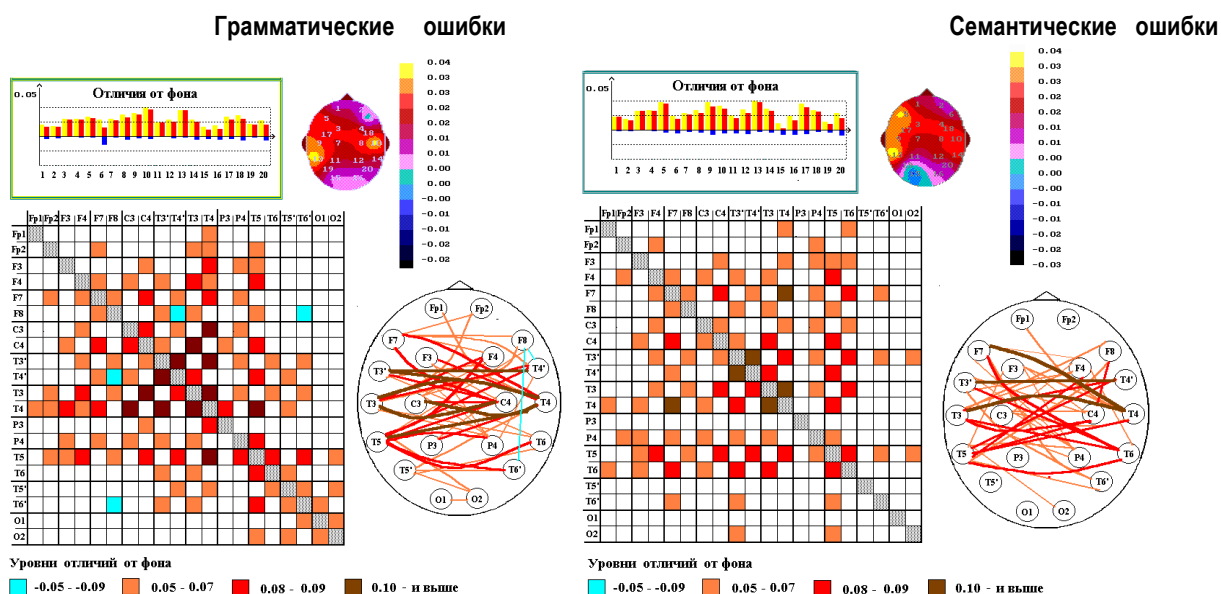


Рис. 1. Изменения пространственной структуры межрегиональных взаимодействий биоэлектрических потенциалов различных областей коры при выполнении взрослыми испытуемыми (N=18) опознания грамматических и семантических ошибок в предъявляемых на слух предложениях.

Вверху - графики и мэппинги степени увеличения по сравнению с фоном (красные столбики) или уменьшения (синие столбики) корреляционных связей ЭЭГ каждой из зон коры с ЭЭГ других областей; по вертикали - уровни различий между КК ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования и при выполнении тестов; по горизонтали - отведения ЭЭГ. На мэппингах, построенных по данным, приведенным на графиках, отображены средние (относительно данного отведения) изменения уровней кросскорреляции ЭЭГ в тестируемом состоянии по сравнению с фоновым (согласно шкале градаций).

Внизу - разностные матрицы изменений кросскорреляционных связей ЭЭГ (согласно шкалам градаций в низу). Столбцы и строки - соответствуют отведениям ЭЭГ, согласно схемам. На схемах - изменения межрегиональных связей ЭЭГ при выполнении теста по отношению к фоновому состоянию отмечены коричневыми и красными линиями (увеличение) или синими линиями (уменьшение).

Таким образом, по нашим данным, следует ожидать более сильного «вовлечения» зоны Брока в процессы семантического анализа, чем грамматического, в то время как зона Вернике в обоих видах анализа вербального материала «участвует» примерно равноценно. Эти данные совпадают с мнением ряда авторов [Posner et al. 1988; Абдуллаев, Бехтерева 1993] об участии зоны Брока в обработке семантической информации. Так и по данным [Joseph et al. 2003], полученным с помощью ЯМР, семантические процессы активируют совместно ряд областей, включая передние и задние части левой нижней префронтальной коры.

При обоих видах деятельности пространственная структура изменений дистантных связей ЭЭГ зона Вернике была практически идентичной. И в том и другом случае усиливались межполушарные взаимодействия активности этой зоны со всеми отделами противоположного полушария, особенно с центральными и височными отделами. Это в какой-то мере согласуется с данными, полученными на основании ПЭТ исследований Воробьевым В.А. с соавт. [1998], хотя по их мнению задняя часть левой верхневисочной коры (зона Вернике) наиболее вероятно участвует в произвольном семантическом анализе, и менее вероятно - в обработке синтаксической структуры. Подчеркнем, что экспериментальные данные о «вовлечении» зоны Вернике в процессы семантического анализа неоднозначны: по данным ПЭТ [Mehard et al. 1996; Медведев и др., 1997] зона Вернике принимает участие в семантическом анализе, по результатам другого ПЭТ-исследования [Petersen et al., 1988], эта зона мозга не участвует в семантической обработке.

Обнаруженное нами усиление билатерального взаимодействия активности височных долей обоих полушарий (передних, средних и задних отделов) при выполнении испытуемыми тестов по обнаружению грамматических и семантических ошибок, может свидетельствовать об использовании в этих случаях одновременно способов обработки вербальной информации, «присущих» правому и левому полушариям [Галунов, 1986; Балонов и др., 1999] и необходимости сравнения воспринимаемого вербального материала с эталонами, хранящимися в памяти, к которой височные отделы имеют непосредственное отношение [Penfield, 1969]. По данным Friederici A. D. с соавт. [2003] с помощью ЯМР - исследования было показано, что при прослушивании семантически или синтаксически некорректных предложений в значительной мере активировались передневисочные области обоих полушарий. Прослушивание предложений с семантическими отклонениями активировало билатерально симметричные части верхней височной области и инсулярной коры.

Анализ полученных результатов подводит к вопросу, в какой мере усиление межполушарных системных взаимодействий кортикальных полей отражает нейрофизиологические процессы, действительно связанные с опознанием семантических и грамматических ошибок в вербальном материале? Такой вопрос не тривиален, поскольку, нельзя исключить, что в исследуемых случаях изменения структуры межполушарного взаимодействия могут отражать в большей мере сам процесс опознания любых сигналов, а не только речевых. Так, обращаясь к данным, полученным ранее в нашей лаборатории, можно указать, что такое же значительное усиление межполушарных взаимосвязей ЭЭГ, а также повышенная «вовлеченность» височного отдела правого полушария, были характерны и в случае выполнения корректурных тестов, составленных из букв либо из изображений лиц, хотя во втором случае этот тест не носил вербально-мнестического характера [Цицерошин, 1997; Шеповальников и др., 1991]. В работе Е.И.Гальпериной [2003] при выполнении взрослыми и детьми стереогностического теста на опознание с помощью ощупывания правой и левой рукой небольших фигурок было показано значительное усиление межполушарных взаимодействий различных отделов коры, что на разностных матрицах КК ЭЭГ проявлялось в виде «шахматного паттерна» изменений.

Полученные в специально проведенных исследованиях результаты показали, что, при выполнении задания на опознание заданного невербального шумового сигнала среди ряда других, изменения пространственной структуры дистантных связей ЭЭГ имели как существенные

отличия, так и определенное сходство с результатами, полученными при выполнении вербальных тестов. Отличия заключались в том, что при опознании шумов максимальное усиление дистантных связей ЭЭГ было характерно для ниже-лобного и височных отделов правого полушария, а в левом полушарии выявилось значительное понижение по отношению к фону ипсилатеральных взаимодействий между БЭА височных и окципитальных отделов. Выявляемое в правом полушарии статистически достоверное усиление ипсилатеральных корреляционных связей ЭЭГ согласуется с имеющимися в литературе сведениями о ведущей роли правого полушария в процессах восприятия неречевых звуковых образов [Балонов, Деглин, 1976].

В свою очередь, сходство структуры межрегионального взаимодействия различных отделов коры обоих полушарий при обоих видах деятельности проявлялось в усилении межполушарных связей ЭЭГ, в том числе билатерально-симметричных связей височных отделов обоих полушарий, а также между ЭЭГ средне-височной зоны правого полушария и ЭЭГ нижнелобных и центральных отделов левого полушария. Проведенное сопоставление полученных данных позволяет сделать вывод, что при вербально-аналитической деятельности, связанной с опознанием грамматических и семантических ошибок, очевидно, в какой-то мере актуализируются также и межцентральные взаимодействия, имеющие отношение к функциональной системе, ответственной за процесс опознания не только вербальных, но и любых других стимулов. К этой системе особое отношение могут иметь дистантные межполушарные связи височных отделов правого полушария.

При выполнении обоих тестовых заданий усиливались билатерально-симметричные связи между ЭЭГ височных долей обоих полушарий и межполушарные связи ЭЭГ правой средне-височной зоны с ЭЭГ нижнелобных и височных отделов левого полушария, включая зоны Брока и Вернике. Однако, при выполнении задания по обнаружению семантических ошибок в большей мере, чем при опознании грамматических ошибок, усиливались дистантные связи ЭЭГ зоны Брока.

Когерентный анализ статистических связей колебаний биопотенциалов в различных частотных диапазонах при опознании грамматических и семантических ошибок в предложениях и опознании фонем в словах показал, что пространственная структура когерентных связей ЭЭГ обладает определенными различиями в бета-, альфа-, тета- и дельта-диапазонах частот как по локализации взаимодействующих зон, так и по уровню увеличения контрлатеральных и ипсилатеральных связей. Наибольшее сходство с пространственной структурой изменений межполушарных корреляционных связей ЭЭГ наблюдалось при всех заданиях в дельта и тета-диапазонах, в то время как в бета и альфа-диапазонах выявились существенные особенности. В альфа-диапазоне наибольшее усиление когерентных связей колебаний ЭЭГ было характерно для нижнелобной, передне- и средневисочной областей левого полушария, но в основном с передними отделами коры обоих полушарий. В свою очередь, примерно симметричная картина наблюдалась для когерентных связей ЭЭГ одноименных отделов правого полушария. Своеобразный паттерн изменений когерентных связей ЭЭГ проявился в бета-диапазоне при всех заданиях, связанных с анализом вербального материала. Увеличение когерентных связей было характерно для дистантных взаимодействий в основном правой средневисочной области с ЭЭГ зон контрлатерального полушария и одновременно с этим имело место нетипичное для других диапазонов частот существенное снижение внутримушарных взаимодействий этой зоны и симметричной ей средневисочной зоны левого полушария.

Вторая серия исследований была посвящена изучению становления нейрофизиологических механизмов обеспечения анализа грамматического оформления речевого высказывания и его смыслового наполнения. Исследовались группы детей 5-6 лет (15 человек) и 8-9 лет (17 человек). Стимульный материал был подобран в соответствии с возрастом испытуемых. По данным корреляционного анализа многоканальной ЭЭГ у детей 5-6 и 8-9 лет при выполнении обоих заданий аналитического характера на опознание грамматических и

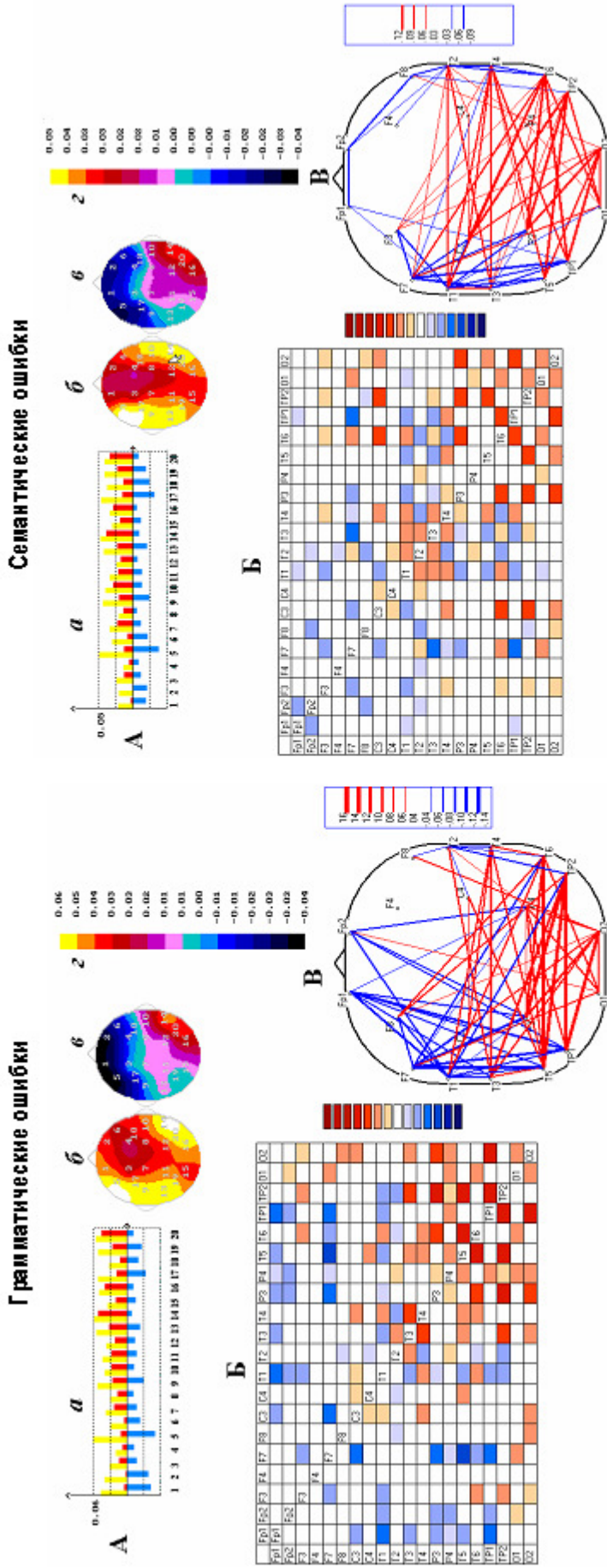


Рис. 2. Усиление межполушарного взаимодействия потенциалов коры у детей 5-6 лет (N=15) при опознании грамматических и семантических ошибок в предъявляемых на слух предложениях
 На 맵пингах, построенных по данным, приведенным на графиках (а), отображены абсолютные (б) и относительные (в) средние изменения уровней кросскорреляции ЭЭГ в тестируемом состоянии по сравнению с фоном (согласно шкале градаций).
 Остальные обозначения см. рис. 1.

семантических ошибок в предъявляемом на слух вербальном материале, в меньшей мере, чем у взрослых проявляется усиление межполушарных взаимодействий височных отделов обоих полушарий. Значительно больше наблюдается изменений внутриполушарных связей ЭЭГ как в сторону увеличения корреляционных взаимосвязей потенциалов, так и в сторону их уменьшения (рис.2). Причем, у детей 8-9 лет отмечалось гораздо меньше снижений внутриполушарных взаимодействий, чем у детей старшего дошкольного возраста.

Таким образом, у детей дошкольного и младшего школьного возраста выявляются элементы незрелости нейрофизиологических механизмов обеспечения таких аспектов речевой функции, как анализ грамматического оформления речевого высказывания и смыслового наполнения фразы.

При выполнении фонематического анализа детьми 5-6 лет и 8-9 лет было выявлено большее сходство изменений пространственной структуры межрегионального взаимодействия биопотенциалов с результатами, полученными при выполнении взрослыми этого задания. То есть, пространственно-временная организации нейрофизиологических механизмов, лежащих в основе обеспечения фонематического анализа, уже приближается к дефинитивному уровню, по сравнению с уровнем, зарегистрированным при анализе смыслового наполнения и грамматического построения фразы, и проявляется у этих детей в большем усилении межполушарного взаимодействия височных отделов обоих полушарий.

Третья серия исследований была направлена на изучение нейрофизиологических механизмов обеспечения речемыслительной деятельности, связанной с мысленным синтезом основных речевых единиц - отдельных слов и предложений.

Мысленное составление слов из фонем (ФС), также как и предложений из предъявляемого на слух набора слов (СП) связано с реализацией ряда последовательных и параллельных операций. Вначале, происходит процесс восприятия, выделения и анализа акустических характеристик сигналов, а также их опознание как речевых единиц. Для этого необходимо сопоставление звуковых паттернов предъявляемых сигналов с хранящимися в памяти энграммами фонем и слов [Галунов В.И. и соавт., 1986]. Затем, по-видимому, осуществляется программирование и формирование слова или фразы из наборов опознанных элементарных единиц. Эти процессы реализуются с учетом необходимого смыслового наполнения и с использованием ранее усвоенных грамматических норм. На заключительном этапе, очевидно, имеет место мысленное сопоставление синтезированного слова или составленной фразы с эталонными требованиями языка.

Несомненно, эти сложные психофизиологические процессы требуют непрерывного обмена информацией между левым и правым полушариями и должны вовлекать в активную деятельность в большей или меньшей степени все или почти все области коры. Полученные нами данные показывают, что совокупность происходящих речемыслительных процессов анализа, синтеза, программирования и контроля находит специфическое отражение в пространственно-временной организации колебаний биопотенциалов коры обоих полушарий (рис. 3). Очевидно, процессы мысленного синтеза речевых единиц протекают при высоком уровне системной взаимосвязанности биоэлектрической активности коры обоих полушарий, особенно их височных и нижнелобных отделов. При этом в реализацию тесных межполушарных взаимодействий вовлечены не только зона Брока и, в особенности, зона Вернике, но и, в такой же и даже в несколько большей степени (при СП), симметричные им отделы правого полушария.

При обоих заданиях обнаруживается значительное сходство происходящих изменений межрегионального взаимодействия кортикальных полей, проявляющихся в существенном усилении межполушарных взаимосвязей ЭЭГ, при небольшом изменении внутриполушарных взаимодействий. И в том, и в другом случае в максимально (по сравнению с фоновым состоянием спокойного бодрствования), изменялись контрлатеральные связи ЭЭГ височных областей, зон ТРО, нижнелобных и затылочных отделов обоих полушарий. В особой мере изменения межполушарных взаимодействий происходили в диагональном направлении, хотя

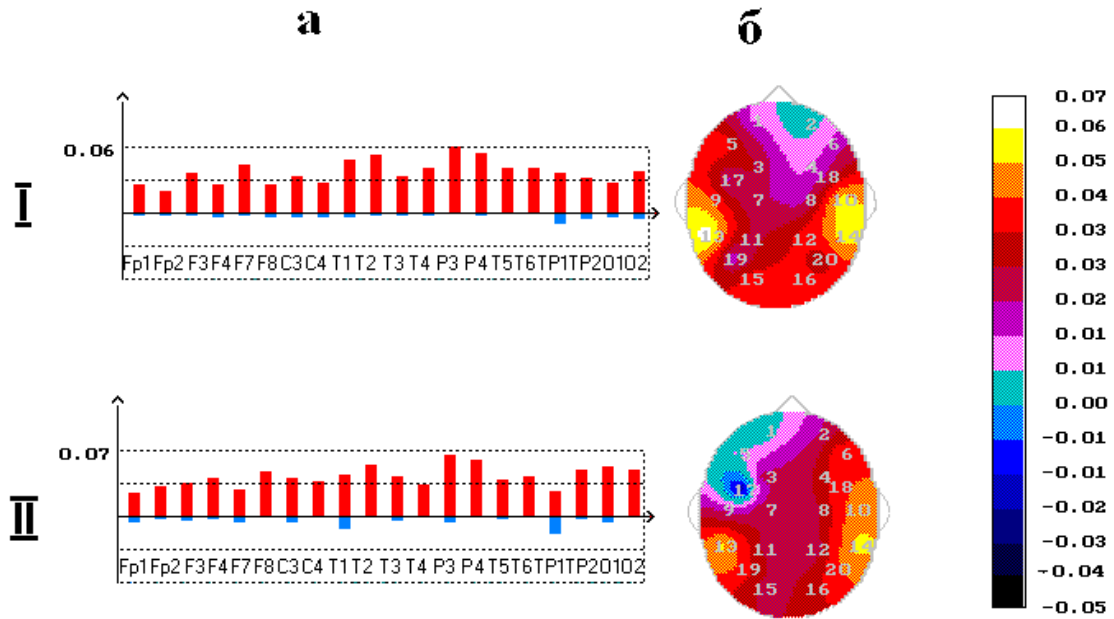


Рис. 3. «Вклад» различных областей коры больших полушарий в обеспечение системной деятельности мозга при выполнении вербальных тестов (по данным корреляционного анализа ЭЭГ).

I – Синтез слов из предъявляемых на слух фонем.

II – Формирование предложений из набора предъявляемых на слух слов.

Остальные обозначения согласно рис. 1.

также возрастала и степень статистической взаимосвязи ЭЭГ билатерально-симметричных зон коры.

Однако, несмотря на некоторое общее сходство происходящих изменений межполушарных связей ЭЭГ с описанными в первой серии результатами, при речевой деятельности синтетического характера были обнаружены и специфические отличия в пространственной организации межполушарного взаимодействия. Так, при составлении слов и предложений отмечалось значительно большее усиление контрлатеральных диагональных связей ЭЭГ зон ТРО как левого полушария (в большей мере при формировании предложений из слов), так и правого (при составлении слов из фонем). Эти данные можно связать с известными из нейропсихологических исследований сведениями, что при поражении левой области ТРО возникает нарушение понимания сложных логико-грамматических конструкций. Существенно также, что, по мнению А.Р.Лурии [1973] и Е.Д.Хомской [1987], области ТРО связаны с симультанным анализом и синтезом информации надмодального характера. Наши данные позволяют предположить, что при синтезе речевых единиц требуется не только активное участие зоны ТРО левого полушария, но и неременное участие зоны ТРО правого полушария.

Другое отличие было выявлено для затылочных областей: если при заданиях, связанных с анализом воспринимаемого на слух вербального материала межрегиональные взаимодействия этих отделов изменялись мало, то при выполнении заданий на мысленное составление фраз и, особенно, слов наблюдалось заметное усиление дистантных связей ЭЭГ затылочных областей с височными отделами, преимущественно противоположного полушария. Это выявлялось как по данным корреляционного, так и когерентного анализа ЭЭГ. При когерентном анализе «активация» ипсилатеральных связей ЭЭГ затылочных отделов

наблюдалась во всех частотных диапазонах, кроме альфа, причем при ФС в пределах левого полушария.

Вовлечение в деятельность затылочных отделов левого и, особенно, правого (при синтезе слов) полушарий могут указывать на существенную активизацию механизмов обеспечения образного мышления в процессы выполнения синтетической речевой деятельности. Действительно, судя по отчету испытуемых при выполнении составления слов из предъявляемого на слух набора звуков большинство из них мысленно оперировали зрительными образами букв и слогов. Примечательно также, что все испытуемые отмечали, что более трудным для выполнения был тест на синтез слов.

Обращает на себя внимание значительное усиление (при ФС и при СП) статистических связей биопотенциалов зоны Вернике и симметричной ей задне-височной области правого полушария со многими контрлатеральными отделами коры. Другие височные отделы обоих полушарий также усиливают свое взаимодействие со многими полями коры, в основном контрлатерального полушария.

Как было показано в обзорной статье Р.Фраковяк с соавт. [Frackowiak et al., 2004], современные методы нейровизуализации позволили подтвердить полученные на материале клинических наблюдений данные о том, что при слуховом восприятии и распознавании речи наблюдается вовлечение в деятельность не только зоны Вернике и других височных отделов левого полушария, но и области коры в правом полушарии гомологичной зоне Вернике, а в некоторых случаях и передневисочной области правого полушария [Leff et al., 2002].

Полученные в нашей работе данные позволяют полагать, что активное участие височных отделов правого полушария необходимо не только при восприятии на слух вербальных сигналов, но и при реализации процессов мысленного порождения речевого высказывания. Существенно, что при этом выявляется значимое усиление системного взаимодействия биоэлектрической активности этих гомологичных отделов левого и правого полушария, проявляющееся как при корреляционном, так и при когерентном анализе ЭЭГ (в последнем случае – в большей мере в тета-, дельта-, и бета-диапазонах). Морфологическое обеспечение этих системных взаимодействий, очевидно, происходит за счет волокон каудальных отделов мозолистого тела и путей, проходящих в задней части передней комиссуры [Дзугаева, 1975].

В обзорной статье М. Мезулама [Mesulam, 1998], приведены сведения из работ других авторов о том, что когда испытуемым предлагалось называть различные цвета, особенности движения объектов или изображения лиц и животных возникала избирательная активация тех областей коры, которые ответственны в первую очередь за перцептуальное декодирование соответствующих свойств и качеств объектов. Лишь немногие из этих областей в пределах височной доли частично перекрывались зоной Вернике. Эти данные, по мнению М. Мезулама показывают, что операция лексического информационного поиска является сложной функцией, имеющей широкое пространственное представительство. По-видимому, вербализация опознаваемых свойств и качеств объектов опосредована через зоны коры, которые связаны с «прелексической информацией», характеризующей эти свойства и качества.

Специального внимания заслуживают результаты клинических наблюдений, выполненных также с использованием ПЭТ, в которых было показано, что перерыв связей зоны Вернике с другими ассоциативными полями (при сохранности самой зоны!) не только резко затрудняет восприятие речи, но нарушает способность человека переводить мысли в слова [Mesulam, 1998]. Он рассматривает зону Вернике не столько как жестко сконцентрированный центр, в котором сосредоточены нейрофизиологические процессы, обеспечивающие речевую функцию, а скорее как «нейрональные ворота», осуществляющие главным образом переключательную функцию, где конвергируют импульсы от разнообразных сенсорных и ассоциативных полей, и где происходит трансформация «нейрональных паттернов образов» в

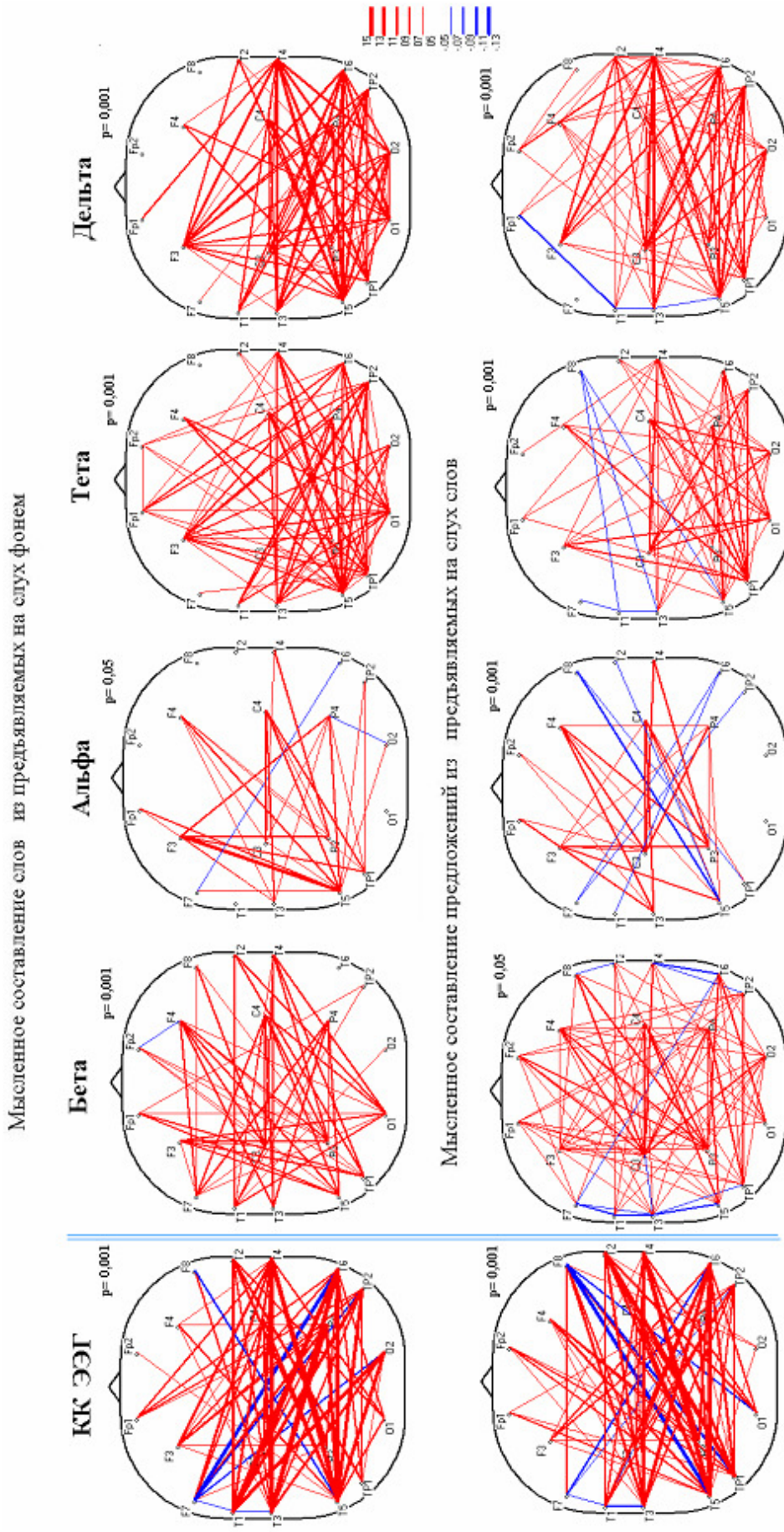


Рис 4. Особенности изменений пространственной структуры когерентных отношений волн ЭЭГ при выполнении вербальных тестов по сравнению с фоновым состоянием. Слева - изменения структуры корреляционных связей ЭЭГ. Шкала изменений когерентных и корреляционных связей ЭЭГ - справа. Красные линии - увеличение, синие линии - уменьшение. Рядом со схемами указаны уровни достоверности отличий от фона.

«слова-формы». Понятно, что для обеспечения такой многопрограммной задачи необходимы обширные морфофункциональные связи зоны Вернике, охватывающие большое число зон не только в пределах височной доли левого полушария [Mesulam, 1998], но, как показывают наши данные, и большинство дистантно удаленных отделов обоих полушарий, особенно контрлатерального.

Особое место занимают нижнелобные области (F7 и F8): для этих отделов было выявлено существенное избирательное уменьшение дистантных связей ЭЭГ как при корреляционном, так и при когерентном анализе. Причем, при синтезе слов преимущественно уменьшались связи ЭЭГ нижнелобного отдела левого полушария с колебаниями биопотенциалов в определенных областях контрлатерального полушария (T6, TP2, O2), тогда как зеркальные отношения – более выраженное уменьшение связей ЭЭГ нижнелобного отдела правого полушария с ЭЭГ одноименных отделов левого (T5, TP1, O1) наблюдалось при выполнении теста «синтез предложений из слов». В последнем случае избирательное уменьшение связей ЭЭГ правой нижнелобной зоны (F8) наблюдалось при оценке результатов когерентного анализа в альфа- и тета-диапазонах частот ЭЭГ.

Сопоставление пространственной структуры биопотенциального поля мозга по результатам когерентного анализа (рис.4) показывает определенные различия во всех диапазонах частот ЭЭГ при выполнении двух, использованных нами тестов. Более интенсивная реорганизация структуры связей в бета-, тета- и дельта-диапазонах наблюдалась при синтезе слов, тогда как при формировании предложений из слов, было отмечено усиление (значительно реже - уменьшение) межрегиональных связей ЭЭГ (по сравнению с фоном). Однако, это изменение связей оказалось несколько менее выраженным, что, по-видимому, можно объяснить меньшей сложностью задачи, согласно субъективного отчета испытуемых.

При фонематическом синтезе в несколько большей мере усиливаются также межполушарные корреляционные связи ЭЭГ передне- и средне-височных отделов обоих полушарий (с небольшим преобладанием левого полушария). По сравнению с тестом на составление предложений из слов, усиливались межполушарные связи ниже-лобной (зона Брока) и задне-лобной областей левого полушария, при относительно более низком уровне межполушарных взаимодействий ниже-лобных, задне- и средне-височных отделов правого полушария.

В свою очередь, при выполнении синтеза предложений из набора слов, в большей мере изменяются контрлатеральные связи ЭЭГ нижнелобных отделов правого полушария, особенно со средне и задне-височными отделами левого полушария. Пространственная структура биопотенциального поля мозга при выполнении теста СП и в других деталях отличается от структуры межрегиональных связей во время ФС.

Эти особенности можно попытаться объяснить исходя из гипотезы Н.Хомского [Chomsky, 2002] о принципах построения фразы на основе использования «правил расширения» ключевого предложения, представляющего собой, по его мнению, именное и глагольное словосочетания. Ключевое предложение в дальнейшем, при обращении к правилам расширения каждой из его частей (за счет других вспомогательных членов предложения) перерастает в полное предложение. Можно предполагать, что стратегический выбор в каждом таком «узле ветвления» требует последовательной и управляемой активации корковых полей, которые ответственны как за хранение вербальной информации, так и за контроль по соблюдению грамматических и семантических правил. Эти процессы, по-видимому, могут находить отражение в усилении билатерально симметричных и диагональных связей многих отделов коры обоих полушарий в условиях выполнения теста на синтез фраз из слов.

Системная интеграция деятельности различных зон правого и левого полушарий при составлении предложений, может найти объяснение и с позиций, сформулированных ещё Л.Я.Балоновым и В.Л.Деглиным [1976] о необходимости обмена информацией между полушариями, связанным со сложным многоэтапным процессом трансформации «глубинных»

структур высказывания, обеспечивающихся, главным образом, деятельностью правого полушария, в «поверхностные», связанные преимущественно с деятельностью левой гемисферы и с позиций знаковых систем, или разных способов обработки одной и той же информации и с позиций разных когнитивных стилей [Черниговская, 2004].

Таким образом, при выполнении испытуемыми сложных лингвистических заданий, связанных с синтезом речевых единиц из составляющих их более элементарных, выявляется совместная деятельность различных отделов коры левого и правого полушарий. Как при выполнении испытуемыми теста на синтез слов из предъявляемого на слух набора фонем, так и теста на составление семантически связанных предложений из набора предъявляемых на слух слов, происходят специфические изменения пространственной структуры системных взаимосвязей потенциалов коры, с активным вовлечением в деятельность обоих полушарий.

Эти изменения проявляются, прежде всего, в усилении межполушарного взаимодействия корковых полей, при относительно малом усилении ипсилатеральных взаимодействий. И в том, и в другом случае наиболее выраженные изменения контрлатеральных связей ЭЭГ были характерны для височных отделов, включая зону Вернике, зон ТРО, нижнелобных и затылочных отделов обоих полушарий. Возрастала степень статистического взаимодействия колебаний биопотенциалов билатерально-симметричных зон коры, но в большей мере происходящие изменения межполушарных взаимодействий имели диагональное направление. При этом выявлялась зеркальная симметричность в структуре происходящих в каждом из заданий изменений межполушарных связей ЭЭГ: при фонематическом синтезе слов имело место несколько более выраженное доминирование левого полушария, а при составлении предложений из слов – правого. Активное участие височных отделов правого полушария и значимое «подключение» затылочных отделов левого и правого полушарий указывают на существенное вовлечение механизмов обеспечения образного мышления в процессы выполнения синтетической речевой деятельности. Более выраженные изменения дистантных связей ЭЭГ нижнелобных отделов правого полушария при СП могут свидетельствовать о том, что реализация осмысленных предложений из набора слов, требует участия зон коры правого полушария, связанных с обеспечением просодических и интонационных характеристик речевого высказывания.

Полученные данные указывают, что при выполнении вербально-мыслительной деятельности, связанной с синтезом сложных речевых единиц из составляющих их более элементарных, необходима координированная совместная деятельность височных и нижнелобных отделов обоих полушарий, с неперенным, но дифференцированным, участием классических речевых центров левого полушария, в особой мере - зоны Вернике.

Таким образом, полученные в наших исследованиях данные подтверждают и дополняют современные представления о существенной роли межполушарных взаимодействий в процессах речемыслительной деятельности, о неперенном участии обоих полушарий в организации всех уровней языка.

ВЫВОДЫ

1. Осуществление различных видов вербально-мнестической деятельности взрослыми испытуемыми и детьми 5-6 и 8-9 лет сопровождается характерной реорганизацией дистантных статистических взаимосвязей колебаний биопотенциалов коры больших полушарий. В каждом из заданий, направленных либо на анализ, либо на синтез вербального материала, были выявлены как общие, так и специфические особенности межрегионального взаимодействия кортикальных полей левого и правого полушарий.

2. При выполнении взрослыми испытуемыми аналитических заданий, связанных с опознанием грамматических или семантических ошибок в предъявляемых на слух предложениях, а также при опознании фонем в контексте предъявляемых слов наблюдалось существенное увеличение межполушарного взаимодействия. Максимальные изменения были характерны для билатерально-симметричных связей ЭЭГ височных отделов обоих полушарий и межполушарных связей ЭЭГ передне- и средне-височной зон правого полушария с ЭЭГ ниже-лобных и височных областей левого, включая зоны Брока и Вернике.

3. По данным когерентного анализа ЭЭГ наибольшее сходство с пространственной структурой изменений корреляционных связей суммарной ЭЭГ при заданиях аналитического характера выявилось в дельта и тета-диапазонах, в то время как в бета и альфа-диапазонах наблюдались существенные особенности. В альфа-диапазоне наибольшее усиление когерентных связей колебаний ЭЭГ было характерно для передних отделов коры обоих полушарий. В бета-диапазоне при всех заданиях выявлялся своеобразный паттерн с увеличением межполушарных когерентных связей ЭЭГ в основном правой средневисочной области. Одновременно с этим в бета-диапазоне имело место нетипичное для других диапазонов частот существенное снижение внутривисочных взаимодействий средневисочной зоны правого полушария и симметричной ей зоны левого.

4. Исследование у детей дошкольного и младшего школьного возраста структуры межцентральных взаимодействий при опознании отдельных фонем в предъявляемом на слух вербальном материале показало, что в этих возрастных группах имеет место сравнительно высокий уровень зрелости нейрофизиологических механизмов, лежащих в основе обеспечения процессов фонематического анализа, тогда как механизмы центрального обеспечения процессов опознания грамматически некорректных фраз и семантически ошибочных предложений еще не вполне сформированы.

5. Проведенное сопоставление данных, полученных при анализе изменений межцентральных взаимодействий, связанных с выполнением испытуемыми аналитических речевых заданий, с результатами, полученными при опознании испытуемыми различных невербальных шумовых сигналов показало, что при вербально-аналитической деятельности, связанной с опознанием отдельных фонем, грамматических и семантических ошибок, очевидно, актуализируются также и межцентральные взаимодействия, имеющие отношение к функциональной системе, ответственной за процесс опознания не только вербальных, но и других стимулов. К этой системе особое отношение могут иметь дистантные межполушарные связи нижне-лобных и височных отделов правого полушария.

6. При выполнении взрослыми испытуемыми тестов на составление слов из набора фонем и на формирование семантически связанных предложений из набора предъявляемых на слух слов происходит усиление межполушарного взаимодействия корковых полей, при относительно малом усилении ипсилатеральных взаимодействий. Наиболее выраженные изменения контрлатеральных связей ЭЭГ характерны для височных отделов обоих полушарий (включая зону Вернике), зон ТРО, нижне-лобных и затылочных отделов. При этих заданиях выявляется «зеркальная симметричность» в структуре происходящих изменений межполушарных связей ЭЭГ: при фонематическом синтезе слов - с преобладанием левого полушария, а при составлении предложений из слов - правого.

7. При выполнении испытуемыми мысленного формирования слов и предложений пространственная структура когерентных связей колебаний биопотенциалов коры имеет определенные отличия в бета-, альфа-, тета- и дельта-диапазонах частот как по локализации взаимодействующих зон, так и по уровню увеличения контрлатеральных и ипсилатеральных

связей. Наибольшие изменения были выражены в бета- и дельта-диапазонах частот ЭЭГ. При обоих заданиях, особенно при фонематическом синтезе, во всех основных частотных диапазонах ЭЭГ наиболее ярко проявлялась активация функциональных взаимосвязей зоны Вернике с другими областями мозга.

8. Полученные данные указывают, что при выполнении речемыслительной деятельности, связанной с анализом воспринимаемого на слух вербального материала и с синтезом сложных речевых единиц из составляющих их более элементарных, необходима относительно жестко координированная совместная деятельность височных и ниже-лобных отделов обоих полушарий, с неременным, но дифференцированным, участием классических «речевых центров» левого полушария, в несколько большей мере - зоны Вернике. Полученные данные подтверждают современные представления о решающей роли межполушарных взаимодействий в процессах речемыслительной деятельности, об участии обоих полушарий в организации всех уровней языка.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Гальперина Е.И., Цапарина Д.М., Панасевич Е.А., Шеповальников А.Н. Возрастные особенности пространственной организации взаимодействия корковых полей при реализации различных видов деятельности у детей. / XXX Всероссийское совещание по проблемам высшей нервной деятельности, посвященное 150-летию со дня рождения И.П. Павлова. С.- Петербург. 15-18 мая 2000г. Тезисы докладов Т.1. С.- Петербург. 2000. С.196-197.
2. Погосян А.А., Гальперина Е.И., Цапарина Д.М. О возрастных особенностях пространственно-временной организации функционального взаимодействия корковых полей при реализации речевых функций // Физиология развития человека. Мат. между-нар. Конф. Посвящ. 55-летию Ин-та возрастной физиологии РАО, 27-30 ноября 2000 г. М.: РАО, ИВФ, 2000. С. 453-454
3. Гальперина Е.И., Цапарина Д.М. Пространственная организация функционального взаимодействия кортикальных полей у детей дошкольного и младшего школьного возраста при выполнении вербально-мнестических тестов. Фундаментальные науки и прогресс клинической медицины. Материалы II Российской конференции молодых ученых России с международным участием. Москва. 24 -28 апреля 2001. Москва 2001. Т. 2. С.291.
4. Погосян А.А., Гальперина Е.И., Цапарина Д.М., Панасевич Е.А. Функциональное взаимодействие корковых полей при выполнении испытуемыми вербальной деятельности. XVIII Съезд Всеросс. Физиол. Общества им. И.П. Павлова. Казань 2001г. С.194.
5. А.А.Погосян, Е.И. Гальперина, Д. М. Цапарина, Е.А. Панасевич, Е.Э. Кац. Особенности функционального взаимодействия корковых полей при вербально-мнестической деятельности взрослых и детей. Материалы II конференции Украинского товарищества нейронаук, посвященного 70-летию кафедры физиологии. ДонДМУ им. М. Горького. Архив клинической и экспериментальной медицины. Т. 10, № 2, 2001. С.33.
6. Гальперина, Д. М. Цапарина, Е.А. Панасевич, Е.Э. Кац, Ж.М. Буторова. Особенности пространственной организации взаимодействия биопаотенциалов мозга при выполнении вербально-мнестических тестов. Материалы молодежной конференции «Мозг и поведение», посвященной 50-летию кафедры ВНД и психофизиологии СПбГУ. 18-19 октября 2001 СПб. С. 7-8.

7. Shepovalnikov A., Peyralade F., Tsitseroshin M.N., Pogosyan A., Galperina E., Karpova T., Tsaparina D. Normalization of the brain functioning in children with delayed speech formation as a result of osteopathic treatment. / 31th Annual Meeting Society of Neuroscience. Abstracts. V. 27. Part 2. 2001. N 6989
8. Цапарина Д.М., Буторова Ж.М. Изменения пространственного взаимодействия биопотенциалов коры при выполнении испытуемыми семантического, грамматического и фонематического анализа // Материалы Пятой Всероссийской медико-биологической конференции молодых исследователей «Человек и его здоровье» 21 апреля 2002. СПб: НИИ химии СПбГУ, С.260-261.
9. Цапарина Д. М., Шеповальников А.Н. Роль межполушарного взаимодействия в процессе опознания ошибок в предъявляемом на слух вербальном материале // Сенсорные системы. 2004. Т. 18. № 2. С. 160. – 169.
10. Цицерошин М.Н, Цапарина Д.М., Гальперина Е.И., Панасевич Е.А. Отражение различных сторон речевой деятельности в структуре межполушарных взаимодействий // Проблемы интеграции функций в физиологии и медицине (к 100-летию юбилею присуждения Нобелевской премии академику И.П. Павлову), Материалы международной конференции, 15-16 июня 2004 г., Минск, Республика Беларусь, Минск: ПЧУП-Бизнес-оф-сет, 2004. С. 400-401.
11. Цапарина Д.М. Специфические изменения системного взаимодействия биопотенциалов различных отделов коры при фонематическом синтезе и составлении предложений из слов // Вестник молодых ученых. Приложение к серии науки о жизни. «Физиология и медицина». Всероссийская конференция молодых исследователей, 14-16 апреля 2005 года, Санкт-Петербург. Сборник материалов. СПб., 2005. С.132
12. Цапарина Д.М. Изменения системного взаимодействия биопотенциалов коры при фонематическом синтезе и составлении предложений из слов // «Физиология слуха и речи». Тезисы докладов. IV школа-конференция, СПб 1 – 3 ноября 2005 г. СПб: РАН, 2005, С. 63 – 64.
13. Цапарина Д.М, Цицерошин М.Н., Шеповальников А.Н. Реорганизация межполушарного взаимодействия при речемыслительной деятельности, направленной на синтез слов и предложений // Физиология человека. 2007. № 1.Т. 33. С. 1-12.