

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ФИЗИОЛОГИИ им. И.П.Павлова

*На правах рукописи*

**БАЛЯКОВА**

Анна Александровна

**ВОСПРИЯТИЕ ЗВУКОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ  
ПАЦИЕНТАМИ С КОХЛЕАРНЫМИ ИМПЛАНТАМИ  
И ДЕТЬМИ С НАРУШЕНИЯМИ РЕЧИ И ПИСЬМА**

03.03.01 - физиология

**АВТОРЕФЕРАТ**

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург

2011

Работа выполнена в лаборатории психофизиологии речи Института физиологии им. И.П. Павлова РАН

Научный руководитель: кандидат биологических наук  
**Огородникова Елена Александровна**

Научный консультант: доктор психологических наук, профессор  
**Королева Инна Васильевна**  
Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена;  
Санкт-Петербургский НИИ уха, горла, носа и речи  
Федерального агентства по высокотехнологичной  
медицинской помощи

Официальные оппоненты: доктор биологических наук  
**Дудкин Кирилл Николаевич**  
Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН

доктор биологических наук  
**Ляксо Елена Евгеньевна**  
Санкт-Петербургский государственный университет

Ведущая организация: Институт эволюционной физиологии и биохимии  
им. И.М. Сеченова РАН

Защита состоится « 14 » ноября 2011 г. в 11 часов на заседании Диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций (Д 002.020.01) при Институте физиологии им. И.П. Павлова РАН (199034, Санкт-Петербург, набережная Макарова, 6).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института физиологии им. И.П.Павлова РАН

Автореферат разослан «    » октября 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор биологических наук

Н.Э. Ордян

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Работа посвящена исследованию основной проблемы физиологии сенсорных систем – узнаванию объектов внешней среды и выделению их разделительных признаков в норме и при нарушении механизмов обработки сенсорной информации в анализаторных системах, в частности, слуховой системе человека.

Базовой функцией слуха является восприятие звуковых последовательностей, которое тесно связано с обработкой не только спектральных (частотных) составляющих сигнала, но и его временной структуры. Необходимой процедурой при этом выступает сегментный анализ и выделение границ элементов звуковых последовательностей на основе обнаружения амплитудных изменений сигнала. Детектирование таких изменений производится с первых этапов обработки в центральных отделах слуховой системы: on- и off-реакции нейронов кохлеарных ядер, комплекса ядер верхней оливы, нижнего холма и далее до уровня слуховой коры (Вартанян, 1978; Радионова, 1987; 2003; Слуховая система, 1990; Yost, 2006; Pickles, 2008). Его результаты зависят от параметров модуляции (диапазон, фронт нарастания и спада амплитуды), качества преобразований звуковой стимуляции на периферии слуха. Для имитации этих процессов в лаборатории психофизиологии речи создана функциональная модель слуховой сегментации речевого сигнала (Кожевников, Столярова, 1980; Kozhevnikov et al., 1987; Столярова, 2010).

Актуальность изучения роли изменений амплитудной огибающей при восприятии звуковых последовательностей резко возросла в связи с разработкой и внедрением в медицинскую практику метода электродного протезирования слуха - кохлеарной имплантации (Berliner, House, 1981; Таварткиладзе, 2004; Moller, 2006; Королева, 2009). Кохлеарный имплант, оперативно введенный в улитку внутреннего уха, вместе с наружной частью устройства, обеспечивает прием и преобразование акустического сигнала в электрическую стимуляцию, восстанавливает способность периферического отдела к выполнению функции спектрального анализа и передачи импульсации в центральные структуры слуховой системы. Однако параметры этого анализа (число полос фильтрации, динамический диапазон) ограничены и обработка амплитудной огибающей в частотных каналах позволяет компенсировать дефицит спектральной информации за счет временных признаков сигнала, участвующих в сегментном анализе и распознавании речи (Shannon et al., 1995; Smith et al., 2002; Люблинская и др., 2008). В то же время особенности процессов слухоречевой сегментации у пациентов с кохлеарными имплантами (КИ) остаются малоизученными.

Вместе с тем нарушение сегментного анализа создает основу для возникновения проблем с выделением границ сегментов звуковых последовательностей, определением порядка их следования, фонемного соответствия при распознавании речи. Сходные проблемы наблюдаются при центральной патологии слуха (Chermark, 2001; Yalcinkaya, Keith, 2008), а также у пациентов с диагнозом слуховая нейропатия (Phillips, 1999; Berlin et al., 2003; Rance et al., 2004; Zeng et al., 2005), у которых подтверждено снижение способности к обнаружению паузы в звуковом сигнале, особенно при усложнении его спектрального состава (Rance et al. 2004; Yalcinkaya et al., 2009; Столярова и др., 2010). В этом контексте могут быть рассмотрены и типичные трудности с выделением структурных элементов слова (слоги, фонемы), пропуск, замена и перестановка букв и слогов, слитное написание слов у детей с речевыми расстройствами и дисфункцией письма (Цветкова, 2000; Парамонова, 2000; Левина, 2005; Корнев, 2006), которые позволяют предположить их связь с нарушением реализации функции сегментации при выделении границ речевых сегментов. Однако данные об особенностях слухоречевой сегментации у детей с нарушениями речи и письма в литературе не представлены. Их получение в комплексе с исследованием восприятия звуковых последовательностей у детей с КИ подчеркивает актуальность работы, а также ее теоретическую и практическую значимость.

**Цель работы.** Цель диссертационной работы состояла в выявлении особенностей восприятия звуковых последовательностей у пациентов с кохлеарными имплантами и у детей школьного возраста с нарушениями речи и письма.

**Конкретные задачи исследования:**

1. Сравнить особенности восприятия звуков окружающей среды, имеющих различную временную структуру, пациентами после операции кохлеарной имплантации с разным речевым статусом: глухота после овладения речью (постлингвальные, ПЛ) и глухота до овладения речью (долингвальные, ДЛ) пациенты.
2. Исследовать восприятие звуковых последовательностей (обнаружение паузы, распознавание ритмического рисунка) с разным спектральным составом (тоны, шум, гласный звук речи, звучание музыкальных инструментов) у ДЛ пациентов с КИ.
3. Исследовать восприятие звуковых последовательностей (обнаружение паузы, распознавание ритмического рисунка) с разным спектральным составом (тоны, шум, гласный звук речи, звучание музыкальных инструментов) у детей школьного возраста с нормой слуха и речи и с нарушениями развития речи и функции письма.
4. Провести сравнение полученных результатов по группам испытуемых: норма слуха и речи, кохлеарная имплантация, нарушения речи и письма.

5. Провести анализ образцов письма со слуха (диктант) у детей с нормой речевого развития и у детей с дисграфией, сопоставить его результаты с данными обработки звуковых фрагментов диктанта на модели слухоречевой сегментации.
6. Сформулировать рекомендации для практических мероприятий в области оценки, развития и реабилитации функции слухоречевой сегментации у пациентов с КИ.

**Научная новизна исследования.** Впервые проведено комплексное исследование и сравнительный анализ особенностей восприятия звуковых последовательностей у пациентов после операции кохлеарной имплантации и у детей с нарушениями речи и письма. Обнаружена недостаточная сформированность центральных механизмов слухового сегментного анализа у долингвальных пациентов с КИ, находящихся на начальной стадии реабилитации. Показано, что дефицитарность этих механизмов наиболее выражена при восприятии коротких звуковых сигналов ( $\leq 100$  мс) и сопровождается нарушениями сенсомоторной координации при реализации артикуляторных программ в процессе речеобразования. Получены новые данные, свидетельствующие о дисфункции сегментного анализа у детей с нарушениями речи и письма, проявления которой обнаружены при восприятии звуковых последовательностей разной длительности, в образцах письма со слуха, отражены в зависимости восприятия ритма от спектрального состава и крутизны фронтов элементов последовательности, отличной от данных испытуемых с КИ и нормы слуха и речи.

**Теоретическое и практическое значение работы.** Результаты работы расширяют теоретические представления о закономерностях восприятия в норме и при нарушениях слуха, показывают важную роль процессов слухоречевой сегментации для овладения функциями слухового анализа, устной речи и письма, подтверждают системный характер работы сенсорных систем. Данные об эффективности направленного обучения у глухих пациентов после операции имплантации отражают проявления пластичности мозга и потенциал формирования новых сенсорно-когнитивных структур при изменении условий периферического анализа акустических сигналов. По результатам исследования выявлены особенности восприятия звуковых последовательностей и слухового сегментного анализа у детей с разными нарушениями слухоречевой функции (долингвальная глухота, недоразвитие речи и дисграфия). Полученные данные имеют важное практическое значение для оценки, восстановления и развития слухового восприятия у пациентов после операции кохлеарной имплантации. По результатам работы сформулированы рекомендации по включению в программу реабилитации

пациентов с КИ нового класса звуковых сигналов, направленных на развитие функции слухоречевой сегментации. Разработанные инструментальные тесты внедрены в клиническую практику (НИИ уха, горла, носа и речи Федерального агентства по высокотехнологичной медицинской помощи) и проходят апробацию в условиях образовательного процесса. Результаты дают основу для теоретического обоснования практического представления о звуковом анализе речевого сигнала как первом и необходимом этапе подготовки к процессу письма (Цветкова, 2000; Лурия, 2002; Корнев, 2003, 2006). Они могут быть использованы для оценки функции слуховой сегментации у детей дошкольного возраста с целью снижения риска проявлений дисграфии.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Для долигвальных пациентов с кохлеарными имплантами, находящихся на начальном этапе реабилитации, характерна недостаточная сформированность механизмов, обеспечивающих слуховой анализ временной структуры звуковых последовательностей. Эти дисфункции имеют центральную природу и обусловлены недостатком предыдущего слухового опыта и адаптацией к новым условиям восприятия.

2. Развитие слухового восприятия звуковых последовательностей у долигвальных пациентов после включения процессора импланта определяется направленным обучением и характеризуется инвариантностью по отношению к спектральному составу звуковых сигналов, но зависит от их длительности.

3. Для детей с нарушениями речи (общее недоразвитие речи, 3-й уровень развития) и письма (нарушения языкового анализа и синтеза) характерно нарушение функции слухоречевой сегментации, которое проявляется при восприятии звуковых последовательностей и при письме со слуха. Ошибки сегментного анализа в этой группе: обусловлены выраженной зависимостью от крутизны фронтов сигналов; не имеют прямой связи с их длительностью; проявляют сходство с особенностями восприятия детей с диагнозом «слуховая нейропатия»; могут быть связаны с нарушением функции не только центральных, но и периферического отделов слуховой системы.

**Апробация работы.** Результаты исследования были представлены и обсуждены на международных и всероссийских конференциях: III Национальный конгресс аудиологов и VII Международный симпозиум «Современные проблемы физиологии и патологии слуха» (Суздаль, 2009), 15-th Word Congress of Psychophysiology (Будапешт, 2010), III и IV Международные конференции по когнитивной науке (Москва, 2008; Томск, 2010), V школа-конференция «Физиология слуха и речи» (Санкт-Петербург, 2008), XV международная

конференция «Ребенок в современном мире» (Санкт-Петербург, 2008), XIII Международная конференция «Speech and Computer – SPECOM'2009» (Санкт-Петербург, 2009), X и XI Международной конференции «Высокие технологии и фундаментальные исследования» (Санкт-Петербург, 2010; 2011), XII Всероссийская медико-биологическая конференция молодых исследователей «Фундаментальная наука и клиническая медицина» (Санкт-Петербург, 2009), XIII и XIV Научные школы-конференции молодых ученых по физиологии высшей нервной деятельности и нейрофизиологии (Москва, 2009; 2010), Конференция молодых ученых «Механизмы регуляции и взаимодействия физиологических систем человека и животных в процессах приспособления к условиям окружающей среды» (Санкт-Петербург, 2007), Конференция логопедов системы здравоохранения РФ «Актуальные вопросы логопатологии» (Санкт-Петербург, 2009), Всероссийская конференция «Прикладная и фундаментальная наука – Российской оториноларингологии» (Санкт-Петербург, 2010), Международная конференция «Онтолингвистика – наука XXI века» (Санкт-Петербург, 2011), Конференция молодых ученых, посвященная 85-летию Института физиологии им. И.П. Павлова РАН (Санкт-Петербург, Колтуши, 2010).

**Публикации.** Основное содержание диссертации отражено в 22 публикациях, из них 3 статьи в рецензируемых журналах из Перечня ВАК РФ.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания методических условий исследования, результатов, их обсуждения, выводов и списка цитируемой литературы, включающего 341 источник. Работа изложена на 146 страницах и иллюстрирована 27 рисунками и 7 таблицами.

### **ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Испытуемые.** Исследовались 3 группы испытуемых: (1) нарушения слуха (сенсоневральная глухота) после кохlearной имплантации (импланты COMBI40+, PULSARC1100; процессоры Темпро+, OPUS-2; фирма MED-EL, Австрия), 1-ый этап реабилитации (2 недели после включения процессора импланта), настройка КИ – восприятие шепотной речи с 2 м; (2) нарушения речи и письма - ученики коррекционной школы с нормой слуха, общим недоразвитием речи (3-й уровень развития) и дисграфией (нарушение языкового анализа и синтеза); (3) норма слуха и речи - ученики общей школы, средний уровень успеваемости. При формировании групп использованы данные клинического обследования, медико-психолого-педагогического заключения, аудиометрии. Данные с участием разных групп испытуемых были получены:

- в 1-й части работы - исследование восприятия с КИ: пациенты с КИ (возраст от 6 до 52 лет), серии по распознаванию звуков окружающей среды (n=59); различению ритмических последовательностей (n=77); обнаружению паузы (n=27);

- во 2-й части работы - сравнительное исследование: группы сравнения КИ (ДЛ пациенты, n=18, возраст 7-14 лет); РП (дети с нарушениями речи и письма; n=10, возраст 10 лет); Н (дети с нормой слуха и речи, n=10, возраст 10 лет), серии по обнаружению паузы и восприятию ритма; анализ образцов письма со слуха (10 детей из группы Н и 8 детей из группы РП);

- при сопоставлении результатов тестирования и логопедического обследования: дети с КИ (n=200, возраст от 3 до 14 лет); дети с нормой речи и нарушениями речи и письма (воспроизведение ритмических последовательностей, n=20, возраст 10 лет).

**Экспериментальные серии и стимульный материал.** В качестве стимулов были использованы звуковые последовательности с разными спектрально-временными характеристиками, определяющими участие механизмов слухового сегментного анализа в решении сенсорных задач: распознавания звуков окружающей среды, обнаружения паузы (быстрое изменение амплитудной огибающей), восприятия ритмического рисунка (слуховая оценка длительности элементов последовательности, порядка их следования).

Звуки окружающей среды представляли 11 стимулов с разной временной структурой: 5 «последовательности» (стук молотка, шаги и т.д.), 5 «шум» (гудение фена, скрип двери и т.д.) и 1 «тон» (звонок телефона). В серии участвовали 49 ДЛ пациентов (6-28 лет) и 10 ПЛ пациентов (7-45 лет), проводилось обучение.

Восприятие ритма изучалось на материале звуковых последовательностей из 3-х элементов разной длительности (K=300 мс; Д=600 мс) для 5 вариантов паттернов: ККД, КДК, КДД, ДКД и ДДК. Спектр стимулов определялся музыкальным инструментом (гобой, скрипка, пианино). Амплитудная огибающая была различной. Для гобоя передний и задний фронты составляли 30 и 40 мс, для скрипки - 80 и 90 мс. Для пианино передний фронт соответствовал 20 мс, задний - линейному убыванию амплитуды. Диапазон звучаний в тестах был различным: 1 инструмент, 1 нота (тест 1); 1 инструмент, 3 ноты (тест 2); 3 инструмента, 1 нота (тест 3); 3 инструмента, 3 ноты (тест 4). Испытуемые: 14 ПЛ (7-52 лет) и 63 ДЛ (6-26 лет) пациента с КИ (тест 1); 12 ПЛ (6-45 лет) и 50 ДЛ (7-26 лет) пациента с КИ (тесты 1-3-4); а также 3 группы сравнения – КИ, РП, Н (тесты 1-3-4).

Обнаружение паузы тестировалось с помощью стимулов различного спектрального состава: тоны (F=500, 1000, 2000 Гц); белый шум, гласный звук («а», F0=230 Гц, F1=850



Гц, F2=1450 Гц). Длительность стимула без паузы равнялась 100 мс. В стимулах с паузой пауза (t=0, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 или 50 мс) занимала центральное положение. За порог обнаружения паузы принималось значение, соответствующее частоте правильных ответов на уровне  $f=0.5$ . В серии участвовали: испытуемые с КИ (25 ДЛ пациентов, возраст 6-24; 2 ПЛ пациента, возраст 8-39) и 3 группы сравнения (КИ, РП, Н).

**Логопедическое обследование.** *Сопровождение пациентов с КИ:* оценка речевого базиса по показателям: наличие/отсутствие голоса, особенности интонирования, характеристика экспрессивной речи, артикуляция, речевое дыхание, воспроизведение звуко-слогового состава слова, лексико-грамматический состав речи. Данные получены для подгрупп ДЛ-1 (n=140; возраст 3-6 лет, операция до 3-х лет) и ДЛ-2 (n=60, 7-14 лет, операция после 4-х лет), включающая группу сравнения КИ (18 ДЛ пациентов, 7-14 лет).

*Воспроизведение ритма.* Выполнение задания на слух (по образцу) и по речевой инструкции с повторением «простых» и «сложных» ритмов (последовательность из 2-3 или 5 элементов с разным ударением). Оценки - по шкале баллов. Испытуемые: школьники с нормой речи и нарушениями речи и письма.

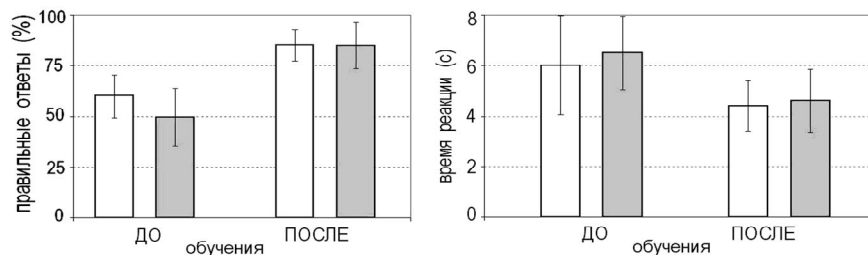
*Анализ образцов письма со слуха (диктант).* Из образцов письма (группы РП, Н) выделяли ошибки с сегментационной составляющей: (пропуск паузы, букв, обрыв конца слова). Ошибки пропуска паузы (слитное написание слов) сопоставляли с данными анализа звуковой формы текста (спектрограммы), обработки на модели и экспертными оценками, полученными в лаборатории ранее.

**Оборудование и методы исследования.** В работе использованы методы аудиометрии, психофизического исследования, инструментального анализа звуковых сигналов, а также логопедического обследования. Для тональной аудиометрии применялся аудиометр АА-02 (9 частот в диапазоне 125-8000 Гц; цифровая запись данных - приложение «СЛУХ»).

Психофизическое исследование проводилось на базе программно-аппаратного комплекса и набора инструментальных методик, разработанных совместно со специалистами клиники кохлеарной имплантации (НИИ ЛОР). Цифровая обработка стимулов обеспечивались звуковыми редакторами: GoldWave v.4.18; PRAAT v.5.042; CoolEdit Pro 2.0. Контроль записи/воспроизведения производился с помощью микрофона NadySCM-1002 Studio-MIC, стимуляция – через динамики Logitech S-100 (фронтально, 1 м до испытуемого, 65-70 дБ от подавления сигнала). Результаты, включая время реакции, фиксировались в формате таблиц EXCEL. При их обработке использовали статистические методы анализа: t-критерий Стьюдента, точный критерий Фишера и статистику  $\chi^2$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**1) Данные исследования пациентов с КИ: Восприятие звуков окружающей среды.** При первом тестировании (1-ая неделя использования импланта) у всех пациентов с КИ наблюдались трудности с распознаванием звуков среды - у 49.2% из них правильные ответы составляли менее 50%, время реакции превышало 6 с. Более высокий уровень распознавания был зафиксирован у ПЛ пациентов. Обучение приводило к значимому росту числа правильных ответов ( $p < 0.05$ ), снижению времени реакции (в среднем, на 31% и 1.8 с), уменьшению разброса ответов, сближению данных ДЛ и ПЛ пациентов (Рис.1).



**Рис.1:** Результаты выполнения теста «Восприятие окружающих звуков» в группе КИ до и после обучения: ПЛ пациенты – белые столбики; ДЛ пациенты – серые столбики.

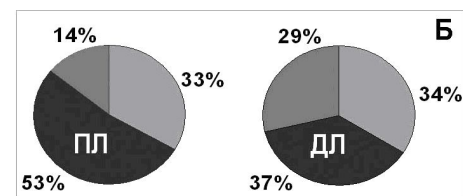
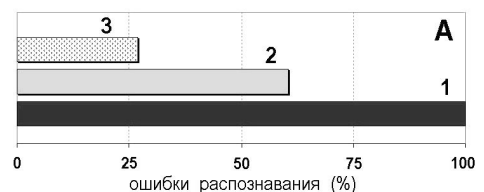
Данные после обучения показали, что 33.6% ошибок связаны с восприятием стимулов-последовательностей (замены «последовательность-последовательность», П-П), 27% - относятся к случаям искажения временной структуры стимулов (замены: «последовательность-шум», «шум-тон» и т.д.). Суммарно 61% ошибок распознавания по группе свидетельствует о несформированности процессов слухового анализа временной (сегментной) структуры сигналов (Рис.2, А). В эту категорию не вошли ошибки восприятия спектральных особенностей стимулов-шумов (замены «шум-шум», Ш-Ш).

**Рис.2:** Распределение ошибок распознавания звуков среды у пациентов с КИ

**А** – ошибки восприятия последовательностей и тона (2); искажение временной структуры (3). Число ошибок в группе (1)

**Б** - структура ошибок у ДЛ и ПЛ пациентов. Секторы:

черный: ошибки Ш-Ш  
 светло-серый: ошибки П-П  
 темно-серый: искажение временной структуры

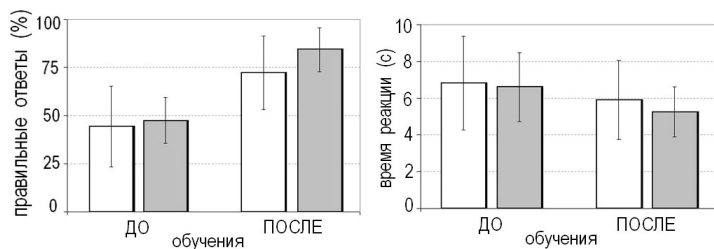


распределение ошибок внутри групп ПЛ и ДЛ пациентов

Важно, что большинство тотальных ошибок сегментного анализа (искажение временной структуры стимулов) выявлено у ДЛ испытуемых. Они зафиксированы у 41% пациентов этой группы. Их доля в общей совокупности таких ошибок по группе КИ

составила 87.5%, у ПЛ пациентов - 12.5%. Эти различия отражают общие особенности слухового восприятия ПЛ и ДЛ пациентов (Рис.2, Б). Так, большинство ошибок в группе ПЛ имеет спектральную направленность (53%). У ДЛ пациентов преобладают ошибки (>60%), связанные с анализом временной структуры стимулов.

**Восприятие ритма.** Выполнение заданий серии потребовало обучения для 28.6% (ПЛ) и 54% (ДЛ) испытуемых с КИ. Обучение привело к значимому улучшению различения ритма ( $p < 0.05$ ) и снижению времени реакции - в среднем, на 32.4% и 1.13 с (Рис.3).



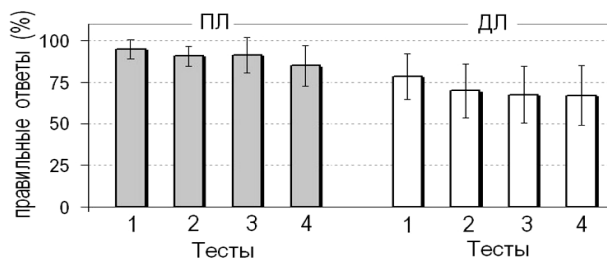
**Рис.3:** Результаты восприятия ритма в группе КИ до и после обучения.

ДЛ пациенты – белые столбики; ПЛ пациенты – серые столбики

Тестирование после обучения показало, что пациенты с КИ достаточно уверенно опознают ритм, но показатели в группе ДЛ остаются ниже, чем у ПЛ испытуемых (в среднем, на 16.4% и 0.8 с). При изменении спектрального состава стимулов (тесты 1-4) уровень правильной оценки ритма в группе ПЛ сохраняется высоким (до 83%), разница для тестов 1 и 4 не превышает 10% (9.6%) – Рис.4.

**Рис.4:** Результаты восприятия ритма при изменении спектрального состава стимулов (тесты 1-4)

Данные ПЛ (серые столбики) и ДЛ (белые столбики) пациентов



В группе ДЛ характер изменений сходен: различие ритма не менее 67%, величина снижения для теста 4 - 11.5%. Данные указывают на достаточно инвариантное восприятие ритма относительно спектральных характеристик стимулов и у ПЛ и у ДЛ испытуемых. Но процесс закрепления навыка слуховой оценки ритма у ДЛ пациентов нельзя считать завершенным. По результатам серии выделена «группа риска» (10-12% ДЛ пациентов) со стабильно низкими показателями восприятия ритма ( $\leq 50\%$ ), плохой обучаемостью, проблемами переноса навыка при изменении характеристик стимулов.

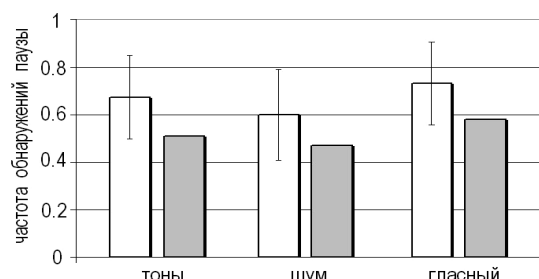
**Обнаружение паузы.** Выявлены трудности, которые испытывают ДЛ пациенты с КИ при слуховом обнаружении паузы. У 48% из них зафиксированы ложные срабатывания на сигналы без паузы (в среднем - 10%; у 4 пациентов – до 58.5%). Зависимость числа обнаружений от длительности паузы не равномерна, большой разброс ответов. Однако

влияния спектра сигналов на результаты выделения паузы не обнаружено (Рис.5). У пациентов группы риска по ритму результаты были ниже средних значений по группе.

**Рис.5:** Результаты обнаружения паузы в стимулах разного спектрального состава

белые столбики: частота обнаружений паузы по группе ДЛ

серые столбики: частота обнаружений паузы для ДЛ пациентов из группы риска по ритму



Данные свидетельствовали о дисфункции анализа быстрых изменений амплитудной огибающей коротких сигналов у пациентов с долингвальной глухотой.

**Логопедическое сопровождение.** Обследование показало, что все ДЛ пациенты с КИ имеют нарушения экспрессивной речи и артикуляторной моторики разной степени (зависимость от речевого, неврологического статуса, слухового опыта, возраста при имплантации). У детей с КИ обнаружены также нарушения фонации (отсутствие голоса, носовое звучание, проблемы интонирования), связанные с несформированностью механизмов слухового контроля голосообразования и речевого дыхания (дифференциация ротового и носового выдоха). Эти нарушения наиболее выражены у пациентов с поздней диагностикой и реабилитацией глухоты (подгруппа ДЛ-2). В подгруппе ДЛ-1 более выражены трудности артикуляции (переключения артикуляторных жестов), нарушения слоговой структуры слова. У всей группы пациентов развитие экспрессивной речи не соответствует возрастной норме (Таблица 1).

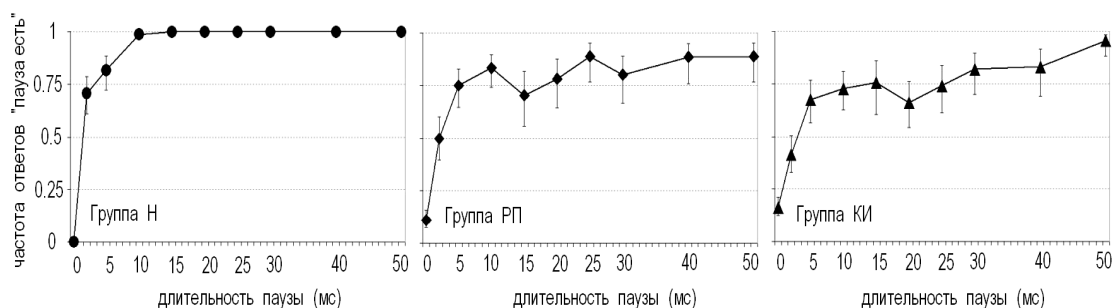
**Таблица 1: Характерные особенности речевых нарушений у ДЛ пациентов с КИ**

подгруппы	экспрессивная речь			нарушения артикуляторной моторики	нарушения слоговой структуры слова
	вокализации, лепетные конструкции	слова, смысловые жесты	фразовые конструкции (2-3 слова)		
ДЛ-1	42%	40%	18%	92.1%	89.3%
ДЛ-2	7%	42%	51%	86.7%	85%

У детей обследованной группы выявлено также недоразвитие лексико-грамматической стороны речи, нарушения функции чтения и письма. Сходные проблемы с артикуляцией наблюдаются у детей при расстройствах речи (дизартрия, артикуляторная диспраксия) и норме слуха. Нарушения слоговой структуры слова - при задержках речевого развития на основе моторной или сенсорной алалии. Данные отражают проблемы реабилитации при потере слуха на этапе формирования устной речи, важность логопедической поддержки глухих детей. Выражен сенсорно-моторный компонент речевых нарушений у ДЛ пациентов с КИ в начале их реабилитации. Нарушенная

слухоречевая координация затрудняет реализацию речевой последовательности (переключение артикуляторных движений), искажение слогового состава слова, что может проявляться при относительно хорошем произнесении отдельных звуков. Результаты оценки, как и данные тестирования, свидетельствуют, что на этапе развития базовых навыков устной речи при новых возможностях слуха (КИ) процессы сегментного анализа, участвующие в сенсомоторном взаимодействии, у ДЛ пациентов сформированы недостаточно. Сходство проявления нарушений у пациентов с КИ и детей с речевыми расстройствами определили их сравнительное исследование.

**2) Результаты сравнительного исследования. Обнаружение паузы:** дети из группы Н устойчиво выделяют паузу минимальной длительности (2 мс) во всех стимулах, кроме шума. Ложных срабатываний не зафиксировано. В группе РП ложные тревоги составили, в среднем, 11% от сигналов без паузы, в группе КИ – 16%. У детей в КИ и РП показатели правильных обнаружений паузы были значимо ниже, чем в группе контроля (Рис.6).



**Рис.6:** Суммарные результаты обнаружения паузы в группах Н (контроль), РП и КИ. по оси абсцисс – длительность паузы (мс), по оси ординат – частота ответов «пауза есть»

При этом ответы в группе Н были стабильными: все паузы, превышающие пороговое значение, обнаруживались в 100% случаев. У детей с нарушениями слуха и речи (КИ, РП) такой стабильности не наблюдалось. Неравномерность зависимости (рост обнаружений при увеличении длительности паузы) была наиболее выражена у детей группы РП, особенно для стимулов сложного спектрального состава (шум, гласный). Сравнительный анализ выявил значимые различия результатов группы контроля и групп РП и КИ ( $p < 0.001$  и  $p < 0.01$ ). Достоверных различий между данными РП и КИ обнаружено не было. В этих группах отмечен большой разброс, характерный для всех вариантов стимулов и значений паузы. В группе Н незначительный разброс наблюдался только в области пороговых значений паузы. Время реакции в группах РП (1.29 с) и КИ (1.97 с) также превысило значения контроля (1 с). Данные показали, что слуховой анализ коротких сигналов при обнаружении паузы в группах РП и КИ не соответствует уровню нормы.

Восприятие ритма. Большинству детей из группы РП (как и КИ) требовалось предварительное обучение до выполнения заданий серии. По результатам экспериментов средние значения частоты правильных опознаваний ритма и время реакции для групп сравнения составили: 0.9 и 3.7 с (Н), 0.5 и 4.8 с (РП), 0.7 и 5.1 с (КИ). Наиболее низкие показатели слуховой оценки ритма были получены у детей с нарушениями речи и письма. Эта тенденция проявилась при выполнении всех тестов (тесты 1-3-4) - Таблица 2.

**Таблица 2: Результаты восприятия ритмических последовательностей**

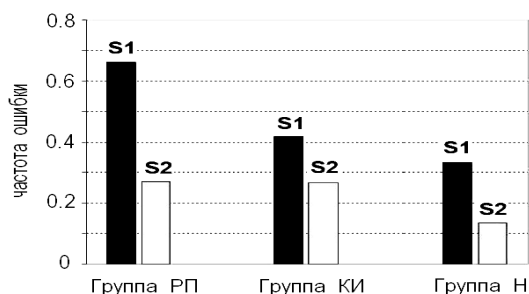
Группа испытуемых	Тест 1				Тест 3				Тест 4			
	f	S	T, с	S	f	S	T, с	S	f	S	T, с	S
<b>Н</b> (контроль)	<b>0.9</b>	0.1	<b>3.8</b>	0.6	<b>0.8</b>	0.1	<b>3.8</b>	0.4	<b>0.8</b>	0.1	<b>3.5</b>	0.6
<b>РП</b>	<b>0.6</b>	0.2	<b>5.2</b>	1.4	<b>0.4</b>	0.2	<b>4.6</b>	0.9	<b>0.4</b>	0.3	<b>4.1</b>	0.8
<b>КИ</b>	<b>0.8</b>	0.2	<b>5.3</b>	1.3	<b>0.7</b>	0.2	<b>5.1</b>	1.6	<b>0.6</b>	0.2	<b>4.9</b>	1.2

обозначения: f - частота правильных ответов; T - время реакции (с); S - стандартные отклонения.

Сравнение показало, что число правильных ответов в группе РП значимо ниже, чем в группе контроля ( $p < 0.01$ ). У пациентов с КИ таких различий с группой Н нет. Обнаружено также, что изменение спектрального состава стимулов (тесты 3 и 4) вызывает у детей из группы РП резкое ухудшение различения ритма ( $\leq 50\%$  правильных ответов). Пациенты с КИ, как и группа контроля, сохраняют достаточно высокий уровень опознавания ( $\geq 63\%$ ). Но среднее время реакции в группе КИ значимо превышает показатели контроля во всех тестах ( $p < 0.05$ ). Время реакции РП детей также значимо превышает контрольное в тестах 1 и 3 ( $p < 0.05$ ). В результатах серии проявилась и зависимость от формы огибающей стимулов. Это показало распределение ошибок при выполнении теста 3. С учетом крутизны фронтов они были сгруппированы в условные блоки S1 и S2. Блок S1 объединил ответы на стимулы-пианино (проблемное выделение границы из-за заднего фронта сигнала). Блок S2 - ответы на стимулы скрипка и гобой, фронты которых способствовали реализации процесса сегментации. Оказалось, что количество ошибок восприятия ритма в блоке S1 превышает их число в блоке S2 (Рис.7) и эта зависимость максимально выражена в группе РП (и по времени реакции -  $\Delta T = 0.8$  с).

**Рис.7:** Частота ошибки при восприятии ритма в группах сравнения

S1 и S2 – блоки стимулов с разными значениями крутизны фронтов нарастания и спада амплитуды

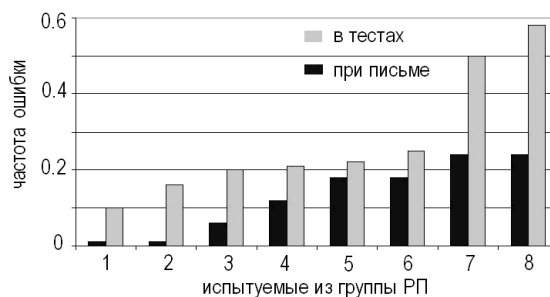


Данные свидетельствуют о низкой способности к слуховой оценке ритма у детей с нарушениями речи и письма, позволяют выделить когнитивную составляющую (проблема переноса навыка) и сегментационный аспект нарушения - выраженная зависимость оценки ритма от параметров фронтов тестовых стимулов.

Анализ образцов письма со слуха. В диктантах группы Н ошибки сегментации обнаружены не были. В группе РП они составили 41% от совокупности ошибок, сделанных при письме. Ошибки пропуска паузы (неразделенные при письме словосочетания) после анализа динамических спектрограмм были сгруппированы по акустическим признакам, обнаруженным в области пропущенных при письме сегментных границ. В 1-ую группу вошли словосочетания, на спектрограммах которых выделили паузы с четкими фронтами и длительностью. Во 2-ую - словосочетания с выраженными вокально-шумовыми переходами (гласный-согласный). К 3-й группе - фрагменты, где наблюдался «скачок форманты» (резкое изменение частоты спектрального максимума). К 4-ой - фрагменты, для которых признаки границы слов, выявлены не были. Результаты показали, что для большинства (82.4%) неразделенных при письме фрагментов обнаружены признаки, позволяющие реализовать сегментный анализ. Сопоставление данных с обработкой на модели сегментации и экспертными оценками было показано, что ошибки при письме первых 3-х типов могут рассматриваться как проявления нарушения процессов сегментного анализа. Относительно ошибок 4-го типа вывод об их связи с нарушением процесса сегментации остается под вопросом. Однако эти словосочетания считаются «проблемными» и в теоретическом и в практическом плане. Они с низкой вероятностью выделяются экспертами (на слух) и моделью (Малинникова и др., 1980; Kozhevnikov et al., 1987). Данные свидетельствуют о нарушении процессов сегментного анализа в группе РП, что проявляется при слуховом обнаружении паузы (тесты) и при письме со слуха (Рис.8).

**Рис.8:** Сравнение данных для испытуемых из группы РП

Частота ошибки при слуховом обнаружении паузы (гласный, шум) и пропуска паузы при письме со слуха (диктант)



Воспроизведение ритма по образцу. В отличие от группы контроля (100%) только 40% детей из РП повторили ритм на слух с 1-й попытки и 20% - по речевой инструкции. Их ошибки были связаны со структурой последовательности: лишние удары (простой ритм),

сокращение числа элементов (сложный ритм). Данные подтвердили нарушение механизмов сенсорно-моторной координации и функции программирования. Элементом нарушения в этом сложном процессе выступает и дисфункция сегментного анализа, которая приводит к ошибкам пропуска границ элементов последовательности, неправильной оценке их интенсивности и длительности (признаки ударения).

**Заключение.** Результаты исследования показали, что электродное протезирование слуха (кохлеарная имплантация) не обеспечивает полного восстановления слухового восприятия временных характеристик звуковых последовательностей без направленной реабилитации, необходимой для завершения формирования центральных процессов слухового анализа (долингвальные пациенты) и их коррекции (постлингвальные пациенты). Данные, полученные при обучении, тестировании и обследовании пациентов с КИ отражают системный характер работы сенсорных систем, а также проявления пластичности мозга, которая является физиологической основой реабилитации при электродном протезировании слуха (Matsusima et al., 1991; Ito et al., 1993; Kral et al., 2001; Giraud et al., 2001; Mortensen et al., 2006; Rouger et al. 2007; Fallon et al., 2008).

Восприятие звуковых последовательностей вызывает затруднения у пациентов с КИ (1-й этап реабилитации). Ошибки распознавания наблюдаются и у ДЛ и у ПЛ пациентов. Однако их количество и связь с искажением временной (сегментной) структуры сигналов максимально выражены у испытуемых с долингвальной глухотой, что обусловлено недостатком слухового опыта в предоперационный период и адаптацией к новым условиям восприятия. Данные свидетельствуют о незавершенности формирования механизмов сегментного анализа и указывают на необходимость практического использования сигналов с разной временной структурой на этапе реабилитации функции слуха с кохлеарным протезом, в частности, звуков окружающей среды, надежное различение которых коррелирует с уровнем распознавания речевых сигналов (Tyler et al., 1989; Reed, Delhorne, 2005; Inverso, Limb, 2010). Практика обучения (опыт сурдопедагогов) говорит об эффективности обучения ДЛ пациентов с привлечением элементов сенсомоторного взаимодействия - вспомогательных жестов (плавный-прерывистый) для описания сегментной структуры тестовых стимулов.

Результаты исследования позволили также выявить особенности слухового сегментного анализа у детей с нарушениями слуха (ДЛ пациенты с КИ) и нарушениями речи и письма (РП). Так, незавершенность формирования процессов сегментного анализа у долингвально глухих детей в возрасте от 7 до 14 лет вызывает затруднения с восприятием коротких сигналов (обнаружение паузы) - различия с данными контроля значимы, критерий обнаружения нестабилен, время реакции превышает значения групп Н



и РП. При восприятии длительных стимулов результаты группы КИ сближаются с данными контроля (быстрое обучение, нет значимых различий по уровню опознавания ритма, инвариантность восприятия). В их данных не обнаружена выраженная зависимость от формы амплитудной огибающей стимулов. Совокупность результатов позволяет заключить, что особенности сегментного анализа у ДЛ пациентов в начале реабилитации отражают незавершенность процессов формирования центральных механизмов слуха с участием коркового отдела слуховой системы.

У детей с нарушениями речи и письма выявленные проблемы сегментного анализа имеют другой характер. При обнаружении паузы их данные значительно отличаются от контроля и близки к группе КИ. Однако, в группе РП более выражена тенденция снижения результатов при усложнении спектра стимулов. Эти проявления близки к особенностям восприятия паузы у детей с диагнозом «слуховая нейропатия» (Rance et al. 2002; Yalcinka, Mulukb, 2009; Столярова и др., 2010). Дети с нарушениями речи и письма значительно хуже различают и ритмические последовательности, их результаты зависят от спектрального состава и характеристик амплитудной огибающей стимулов. Эти проявления позволяют предположить возможность нарушения механизмов сегментного анализа на этапе первичной слуховой обработки сигнала. Вероятность этого подтверждена результатами анализа ошибок в образцах письма со слуха, данными, полученными на модели сегментации, и экспертными оценками (Малинникова и др., 1980). Одним из возможных механизмов нарушения может быть десинхронизация реакций волокон слухового нерва согласно модельной схеме, предложенной для описания патологии по типу слуховой нейропатии (Starr et al., 2003; Zeng et al., 2005). Такой механизм хорошо согласуется и с модельными представлениями о процедуре слухоречевой сегментации на периферии слуха (Кожевников, Столярова, 1980; Porter, 1985; Kozhevnikov et al., 1987; Люблинская и др., 2008; Столярова, 2010).

Важно подчеркнуть, что взаимосвязь между способностью к слуховому обнаружению паузы и ошибками пропуска паузы при письме хорошо согласуется с представлениями о звуковом анализе речевого сигнала как первом и обязательном этапе подготовки к успешной реализации функции письма (Цветкова, 2001, 2003; Лурия, 2002; Корнев, 2003, 2006). Поэтому целесообразно уделять особое внимание развитию у дошкольников навыков слуховой сегментации (восприятие ритма, различение коротких сигналов с быстрыми изменениями спектральных и временных характеристик). С учетом этих данных были сформулированы общие **практические рекомендации** для реабилитации функции слухоречевой сегментации у пациентов после операции кохлеарной имплантации и обследования детей с нарушениями речи и письма:

- включение в систему перцептивного тренинга пациентов после операции кохлеарной имплантации обучающих и тестовых блоков для развития восприятия временных характеристик и сегментного анализа звуковых последовательностей (разный спектральный состав, длительность, структура).
- расширение набора тестов по восприятию ритмических последовательностей (включение речевых сигналов) и обнаружению паузы в коротком звуковом сигнале (изменение положения паузы, введение дополнительного критерия - удара).
- использование разработанного набора инструментальных методик (пауза, ритм) для объективной оценки и развития навыков сегментного анализа у детей дошкольного возраста с целью снижения риска проявлений дисграфии.

### **ВЫВОДЫ**

1. У пациентов с кохлеарным имплантом (электродное протезирование слуха) наблюдаются нарушения слухового восприятия временной структуры неречевых сигналов, которые проявляются при распознавании звуков окружающей среды в течение первых недель использования импланта. Нарушения, связанные с искажением временной структуры звуковых последовательностей, наиболее выражены у пациентов с долигвальной глухотой и отражают незавершенность формирования центральных процессов слухового анализа, обусловленную недостатком слухового опыта пациентов в предоперационный период.
2. Развитие слухового восприятия и процессов сегментного анализа временной структуры звуковых последовательностей у долигвальных пациентов с кохлеарными имплантами определяется направленным обучением. Результаты обучения характеризуются инвариантностью по отношению к спектральному составу звуковых сигналов, но зависят от их длительности.
3. При восприятии коротких сигналов ( $\leq 100$  мс) с быстрым изменением амплитудной огибающей (пауза от 2 до 50 мс) у долигвальных имплантированных пациентов на начальном этапе реабилитации (2 недели после включения импланта) обнаружена неустойчивость критерия оценки непрерывности и прерывания звукового сигнала паузой, обусловленная незрелостью центральных механизмов сегментного анализа на уровне коркового отдела слуховой системы.
4. Восприятие длительных сигналов (ритмических последовательностей более 1 с) пациентами с кохлеарными имплантами характеризуется быстрым обучением, хорошими показателями различения, отсутствием выраженной зависимости от фронтов нарастания амплитуды сигналов.
5. Незавершенный процесс формирования центральных механизмов сегментного

анализа звуковых сигналов у долингвальных пациентов в возрасте от 7 до 14 лет сопровождается проявлениями нарушений сенсомоторного взаимодействия при воспроизведении последовательности речевых звуков и слоговой структуры слова.

6. У детей школьного возраста с нарушениями речи (общее недоразвитие речи, 3-й уровень развития) и письма (ведущая форма: нарушения языкового анализа и синтеза) выявлены нарушения процессов слухоречевой сегментации при слуховом восприятии звуковых последовательностей и при реализации функции письма со слуха. Проявления дисфункции сегментного анализа у детей с нарушениями речи и письма зависят от фронтов звуковых сигналов, не имеют прямой связи с их длительностью, обнаруживают сходство с особенностями восприятия пациентов со слуховой нейропатией, что позволяет соотнести их с нарушениями подкорковых и/или периферического отделов слуховой системы.

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Королева И.В., Огородникова Е.А., Люблинская В.В., Пак С.П., Балякова А.А. Результаты использования компьютерной тренажерной системы в практике реабилитации слухоречевого восприятия у пациентов с кохлеарными имплантами // Российская оториноларингология.- 2008.- №1.- С.297-304.

2. Огородникова Е.А., Балякова А.А., Столярова Э.И., Охарева Н.Г. Особенности слухового восприятия ритмических последовательностей детьми с нарушениями речи и письма // Российская оториноларингология.- 2010.- №2.- С.97-102.

3. Огородникова Е.А., Королева И.В., Пак С.П., Балякова А.А. Развитие и оценка восприятия временных характеристик звуковых сигналов у пациентов с кохлеарными имплантами с использованием инструментальных методик // Российская оториноларингология.- 2010.- №2.- С.91-97.

4. Балякова А.А. Особенности слуховых процессов у детей с дисграфией // XV Международная конференция «Ребенок в современном мире»: Сб. трудов. – Санкт-Петербург, 2008.- С.324-327.

5. Балякова А.А., Огородникова Е.А., Столярова Э.И. Анализ ошибок в диктантах школьников с дисграфией // Международная конференция «Онтолингвистика – наука XXI века»: Сб. трудов.- Санкт-Петербург, 2011.- С. 238-243.

6. Балякова А.А., Огородникова Е.А., Королева И.В., Пак С.П., Столярова Э.И., Охарева Н.Г. Разработка инструментальных методик для оценки и реабилитации восприятия временных характеристик акустических стимулов // XI Международная конференция «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: Сб. трудов «Высокие технологии и фундаментальные исследования».- Санкт-Петербург,

2011.- Т.3.- С.228-231.

7. Огородникова Е.А., Королева И.Н., Пак С.П., Жирков А.А., Балякова А.А. Разработка и применение инструментальных методик для реабилитации и оценки развития слухоречевой функции у пациентов с кохлеарными имплантами // X Международная конференция «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности»: Сб. трудов «Высокие технологии и фундаментальные исследования».- Санкт-Петербург, 2010.- Т.4.- С.43-46.

8. Балякова А.А. Нейропсихологические особенности детей с дисграфией // 3-ая Международная конференция по когнитивной науке: Сборник трудов.- Москва, 2008.-Т.1.- С.192-194.

9. Ogorodnikova E.A., Koroleva I.V., Lublinskaja V.V., Pak S.P., Stoljarova E.I., Baljakova A.A. Computer in rehabilitation of patients with cochlear implants // 13-th International Conference «Speech and Computer – SPECOM'2009».- St.-Petersburg, 2009.- P.483-486.

10. Балякова А.А. Нейропсихологические особенности детей с нарушениями письма (результаты тестирования и возможности коррекции) // Конференция молодых ученых, посвященная 100-летию В.Н. Черниговского: «Механизмы регуляции и взаимодействия физиологических систем организма человека и животных в процессах приспособления к условиям среды»: тезисы доклада.- Санкт-Петербург, 2007.- С.12.

11. Балякова А.А., Огородникова Е.А., Пак С.П. Использование информационных технологий для развития музыкального восприятия у пациентов с кохлеарными имплантами // Конференция молодых ученых, посвященная 100-летию В.Н. Черниговского: «Механизмы регуляции и взаимодействия физиологических систем организма человека и животных в процессах приспособления к условиям среды»: тезисы доклада.- Санкт-Петербург, 2007.- С.13.

12. Королева И.В., Огородникова Е.А., Росс Я.Ю., Балякова А.А. Восприятие мелодических характеристик в речи и музыке у пациентов с кохлеарными имплантами // 5-ая школа-конференция «Физиология слуха и речи»: тезисы доклада.- Санкт-Петербург, 2008.- С. 29-30.

13. Огородникова Е.А., Столярова Э.И., Охарева Н.Г., Балякова А.А. Особенности сегментации звукового потока у детей с нарушениями слухоречевой функции // 5-ая школа-конференция «Физиология слуха и речи»: тезисы доклада.- Санкт-Петербург, 2008.- С.42.

14. Балякова А.А., Огородникова Е.А., Королева И.В. Восприятие ритмических характеристик звуковых сигналов детьми с нарушениями речевого развития различного генеза // Конференция логопедов «Актуальные вопросы логопатологии»: тезисы доклада.-

Санкт-Петербург: НИИ ЛОР, 2009.- С.27-28.

15. Балякова А.А. Особенности восприятия ритма у детей с различными нарушениями речевого развития // 12-ая Всероссийская медико-биологическая конференция молодых исследователей «Фундаментальная наука и клиническая медицина»: тезисы докладов.- Санкт-Петербург, 2009.- С.35.

16. Королева И.В., Огородникова Е.А., Балякова А.А. Восприятие временных характеристик звуковых сигналов у пациентов с кохлеарными имплантами // 3-й Национальный конгресс аудиологов, 7-й Международный симпозиум «Современные проблемы физиологии и патологии слуха»: тезисы доклада.- Суздаль-Москва, 2009.- С.116-118.

17. Балякова А.А., Огородникова Е.А., Столярова Э.И. Особенности сегментации звукового потока у детей с нарушениями слухоречевой функции // XIII Научная школа-конференция молодых ученых по физиологии высшей нервной деятельности и нейрофизиологии: тезисы доклада.- Москва, 2009.- С.38-39.

18. Балякова А.А., Огородникова Е.А., Королева И.В., Столярова Э.И., Пак С.П. Исследование особенностей слухоречевого восприятия у детей с нарушениями развития речи различного генеза // 4-ая Международная конференция по когнитивной науке: тезисы доклада.- Томск, 2010.- Т.2.- С.155-157.

19. Балякова А.А. Особенности речи у пациентов после кохлеарной имплантации // XIV Научная школа-конференция молодых ученых по физиологии высшей нервной деятельности и нейрофизиологии: тезисы доклада.- Москва, 2010.- С.33.

20. Ogorodnikova E., Baliakova A., Koroleva I., Stoliarova E., Pak S. Hearing perception of temporal sound cues in children with speech and hearing disorders // 15-th Word Congress of Psychophysiology: International Journal of Psychophysiology: тезисы доклада.- Будапешт, 2010.- V.77, Issue 3.- P.244.

21. Огородникова Е.А., Королева И.В., Люблинская В.В, Пак С.П., Столярова Э.И., Балякова А.А. Психофизиологические исследования формирования слухоречевого поведения глухих детей после кохлеарной имплантации // Всероссийская конференция с международным участием, посвященная 85-летию Института физиологии им. И.П. Павлова РАН: тезисы доклада.- Санкт-Петербург-Колтуши, 2010.- С.219-220.

22. Балякова А.А. Особенности восприятия звуковых последовательностей у детей с нарушениями слуха и речи // Конференция молодых ученых, посвященная 85-летию Института физиологии им. И.П. Павлова РАН: тезисы доклада.- Санкт-Петербург-Колтуши, 2010.- С.8-9.