

Научная статья

УДК 612.85

<https://doi.org/10.21702/rpj.2023.3.10>

Развитие процессов слухового анализа у пользователей кохлеарных имплантов с применением программных средств

Инна В. Королева¹ , Анна А. Балякова² , Эльвира И. Столярова² ,
Сергей П. Пак² , Елена А. Огородникова^{2*} 

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи Минздрава РФ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Институт физиологии им. И. П. Павлова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Почта ответственного автора: ogorodnikovaea@infran.ru

Аннотация

Введение. Современные технологии слухопротезирования (супермощные цифровые слуховые аппараты, кохлеарная имплантация) создают условия для слуховой реабилитации людей с большими потерями слуха и даже глухотой. При этом возникает актуальная задача развития и обновления сенсорного опыта, включая формирование первичных процессов слухоречевого анализа с закреплением новых межсенсорных связей и механизмов слухомоторной интеграции как основы коммуникативной и когнитивной деятельности в новых условиях взаимодействия с окружающей средой. Эффективному решению этой психофизиологической задачи может способствовать применение специализированных программных средств, предоставляющих возможность направленной тренировки перцептивных навыков, необходимых для реализации слухоречевой функции пациентов с нарушениями слуха, и объективной оценки индивидуальной динамики их реабилитации методами психофизики. Целью исследования стала проверка эффективности использования программных средств в проблемных ситуациях реабилитации после кохлеарной имплантации. **Методы.** Разработанные программные средства применяли для развития процессов слухового анализа восприятия и речи у пользователей кохлеарных имплантов разного возраста с до- и постлингвальной глухотой. Результаты оценивали

по данным психофизического тестирования на основе количественных показателей правильного распознавания и времени реакции. Три серии исследования отражали проблемные ситуации реабилитации: поздняя имплантация ($n = 32$); слуховой анализ динамических сигналов при восприятии просодической информации в речи ($n = 36$) и в условиях пространственной ориентации ($n = 25$). **Результаты.** Новые данные и результаты их сравнения свидетельствовали о достоверном улучшении в обнаружении и анализе базовых спектрально-временных признаков неречевых и речевых сигналов (прерывание паузой, изменение ритмического рисунка звуковой стимуляции, локализация и движение источника звука, фонетические категории и просодические характеристики речи), а также в использовании пользователями кохлеарных имплантов слухоречевых навыков в повседневных ситуациях после тренировки. **Обсуждение результатов.** В целом, опыт практического применения программных средств свидетельствует о целесообразности их включения в методический инструментарий центров кохлеарной имплантации и коррекционной работы при обучении детей с нарушенным слухом.

Ключевые слова

слухоречевой анализ, кохлеарная имплантация, программные средства, реабилитация глухих людей, фонематический слух, речевая интонация, акустическая ориентация, слухоречевая функция, психофизическое тестирование

Финансирование

Работа поддержана средствами государственного бюджета и госзадания по теме №0134-2019-0005.

Для цитирования

Королева, И. В., Балякова, А. А., Столярова, Э. И., Пак, С. П., Огородникова, Е. А. (2023). Развитие процессов слухового анализа у пользователей кохлеарных имплантов с применением программных средств. *Российский психологический журнал*, 20(3), 188–205. <https://doi.org/10.21702/rpj.2023.3.10>

Введение

Кохлеарная имплантация в настоящее время является наиболее эффективным методом восстановления слухового восприятия глухих людей (Wilson & Dorman, 2008; Таварткиладзе, 2013; Руленкова, Смирнова, 2003; Королева, 2016; Koroleva & Ogorodnikova 2019). Кохлеарный имплант (КИ), оперативно введенный в улитку глухого человека, способен заменить поврежденные слуховые рецепторы и восстановить процессы передачи акустической информации в центральные отделы

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ, ИССЛЕДОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

слуховой системы посредством электрической стимуляции волокон слухового нерва (Loizou, 1998; Wilson & Dorman, 2008; Таварткиладзе, 2013; Королева, 2016). Однако такое протезирование в определенной степени изменяет условия и качество слуховой перцепции, поскольку звуковые сигналы, передаваемые КИ в центральную нервную систему, существенно отличаются от сигналов, передаваемых нормально функционирующей улиткой. После хирургической имплантации все пациенты нуждаются в слухоречевой реабилитации, направленной на восстановление (при постлингвальной глухоте) и на развитие (при долингвальной глухоте) процессов слухового анализа и произносительных навыков в речи (Миорова, Сатаева, Фроленкова, 2005; Боровлева, 2014; Harris et al., 2016; Королева, 2016; Zamiri, Ahmadi, Joulaie & Darouie 2017; Королева, Огородникова, Пак, Левин, 2017; Koroleva & Ogorodnikova, 2019).

Для восстановления слухоречевой функции глухих пациентов с КИ разработан «слуховой» метод. Он выделяет системное развитие процессов слухового анализа с КИ у пациентов в качестве приоритетного направления послеоперационной реабилитации (Королева, 2014). Основу «слухового» метода составляют представления, что окружающие звуки и речь являются акустическими сигналами с общими физическими и перцептивными признаками, а процессы их обработки опираются на общие базовые операции слухового анализа в высших отделах слуховой сенсорной системы и мозга в целом. В то же время концепция метода допускает, что в одном и том же акустическом сигнале человек может выделять разную целевую информацию. Например, речь в ситуации диалога – это в первую очередь семантика высказывания и экстралингвистическая информация о состоянии собеседника. В условиях «вечеринки» речь ее участников становится конкурирующим сигналом, маскирующим речевое сообщение целевого диктора. Таким образом, один и тот же звук может быть «полезным» сигналом, который мозг стремится выделить из окружающей среды, или «помехой», которую он должен игнорировать, чтобы решить сложную перцептивную задачу выделения акустической «цели» (рис. 1). В связи с этим, важным моментом выступает отсутствие у пользователей КИ выраженных центральных слуховых расстройств (Moore, 2012; Musiek & Chermak, 2014; Бобошко, Гарбарук, Жилинская, Салахбеков, 2014; Королева, 2016; Гвоздева, Ситдииков, Андреева, 2020), а также организация адекватного слухового тренинга и создание условий для развития слухоречевых навыков с КИ в ежедневных ситуациях общения. Использование тренинга и развитие навыков слуха с КИ в естественных условиях обеспечивает возможность последовательного обновления и формирования центральных механизмов обнаружения, различения и распознавания неречевых и речевых сигналов разной степени сложности, слухоречевой памяти, слухового селективного внимания и расширения базы новых слуховых образов речевых и неречевых сигналов с их межсенсорными (в первую очередь, аудиовизуальными) связями.

Рисунок 1

Упрощенная иллюстрация сложности процессов слухового анализа в условиях неоднозначности окружающей человека акустических сигналов.



На основе «слухового метода» и фундаментальных знаний о физиологических механизмах речевого и пространственного слуха человека, специалистами СПбНИИЛОР совместно с Институтом физиологии им. И. П. Павлова РАН создан комплекс программных средств, обеспечивающих условия обучения и тренинга слухоречевой функции у пользователей кохлеарных имплантов (КИ) (Огородникова, Королева, Люблинская, Пак, 2008; Королева и др., 2013). Использование данного комплекса позволяет реализовать сложные методики, направленные на развитие константности восприятия речевых сигналов в условиях дикторской вариативности (различные голосовые характеристики), фоновых помех; стимуляции сложными звуковыми последовательностями с динамическим изменением параметров (прерывание паузой, сравнение ритмических и мелодических паттернов, обнаружение движения источника звука или речи). Программные средства также дают возможность сохранять цифровые протоколы отдельных занятий и всего курса реабилитации для оценки его эффективности и степени сформированности операции слухового анализа на основе полученных показателями – число повторных прослушиваний, количество правильных распознаваний, время реакции (Огородникова и др., 2008; Королева и др., 2013; Королева и др., 2021). Важно также, что в процедурах тренинга используется визуальное подкрепление акустической стимуляции (изображения/текст на экране монитора) и обратная связь с пациентом. Это обеспечивает возможность работы не только в режиме занятий под контролем сурдопедагога, но и в условиях домашнего обучения с оценкой результатов на основе экспресс-оценки выполнения задания или промежуточного самотестирования.

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ, ИССЛЕДОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Отметим, что фиксация текущих успехов и трудностей оказывает воздействие на психологическое состояние пациентов и их мотивацию к продолжению курса реабилитации (Moore, 2012; Королева и др., 2021). Фиксация успехов и трудностей также рассматривается как важный элемент в работе с пациентами из группы риска отказа от использования КИ, к которой, в частности, относятся глухие поздно имплантированные подростки, имеющие психологическую основу для проявлений коммуникативной и социальной депривации (Ермаков, Горелов, 2022).

Повысить эффективность решения поставленных коррекционных задач способны модульная структура программного комплекса и диапазон задаваемых параметров, позволяющих учитывать слухоречевой статус участников тренинга и степень их адаптации к КИ (Солодухин и др., 2020). В статье анализируется опыт и основные результаты практики применения программного комплекса в проблемных ситуациях. Проблемные ситуации представлены конкретными примерами развития навыков распознавания звуков окружающей среды и категориального различения звуковых единиц речи в условной группе риска (отказ от КИ), при анализе динамических изменений в речи (просодика) и в пространственном восприятии (движение звукового источника) у пользователей КИ разного возраста и уровня слухоречевого развития.

Методы

Методические условия и участники исследования

Серия 1

В этой части работы оценивали эффективность применения обновленного комплекса программных средств для развития базовых навыков слухового восприятия неречевых звуков с различными спектрально-временными характеристиками и процессов фонемного анализа речевых сигналов у долингвально оглохших подростков, проимплантированных в старшем возрасте (условно, группа риска отказа от КИ). Курс тренинга (6 месяцев) прошли 32 подростка в возрасте от 9 до 17 лет с долингвальной глухотой и опытом использования КИ (ТЕМРО+, OPUS-2; MED-EL) от полугода до семи лет. В связи с высокой стоимостью операции, всем подросткам из этой части работы, как и участникам других серий сходного тренинга (Королева и др., 2017), было проведено только одностороннее протезирование.

27 подростков из группы посещали школу для детей с нарушенным слухом, 5 – учились в общеобразовательной школе. Все подростки занимались с сурдопедагогом по традиционным методикам специального образования. Включение их в курс тренинга на базе СПбНИИЛОР определялось неудовлетворенностью результатами имплантации и/или проявлениями отказа использовать КИ.

Подготовленный курс занятий включал упражнения на восприятие звуковых сигналов разной длительности, ритмической организации, тембральной окраски, частоты основного тона голоса и фонемных категорий речевого слуха. Навыки слухового анализа формировали параллельно с коррекцией произносительной стороны речи на основе новых возможностей слухового контроля с опорой на КИ. Родители участников тренинга дополнительно проводили самостоятельную работу с детьми по заданиям из комплекта пособий «Учусь слушать и говорить» (Королева, 2014).

Оценку результатов осуществляли по показателям ряда тестов: различение звуков окружающей среды (11 бытовых звуков с разными спектрально-временными характеристиками – шум воды, разбитого стекла, стук молотка, шагов человека и т. д.); восприятие ритмического рисунка звуковых последовательностей (5 паттернов из 3 элементов разной длительности – длинный/короткий; для 3 различных музыкальных тембра и 3 вариантов высоты звучания); определение гендерной принадлежности голосов дикторов (4 диктора, мужской/женский голос); распознавание речевых сигналов целевого диктора в условиях голосовой конкуренции (12 слов, 2 диктора – мужчина и женщина). Сравнивали данные из протоколов тестирования до и после прохождения курса тренинга, а также баллы по «Шкале слуховой интеграции (ШСИ)» и «Шкале использования устной речи (ШИУР)» для оценки процессов спонтанного развития речи (Огородникова и др., 2008; Королева и др., 2013; Королева, 2016; Королева и др., 2017).

Серия 2

Эта серия была связана с исследованием особенностей восприятия пользователями КИ динамических характеристик акустических сигналов в речи и в музыке. Известно, что восприятие с КИ имеет ограничения по различению высоты звуковых сигналов и изменений частоты основного тона голоса (ЧОТ), важных для анализа мелодической структуры музыкальных произведений, просодической информации в речи, а также различения лингвистических единиц в ряде тональных языков (Li, Tang, Lu, Wu & Chang, 2021). Это положение стимулировало целый ряд работ по изучению восприятия речевой интонации пользователями КИ в разных языковых системах (Wang et al., 2012; Chen et al., 2013; Chen, Wong, Chen & Xi, 2014; Marx et al., 2015; Королева и др., 2016).

В русской разговорной речи основными просодическими категориями являются вопросительный (восходящий контур ЧОТ) и утвердительный (нисходящий контур ЧОТ) тип интонационных конструкций (Брызгунова, 1977; Светозарова, 1982). Их надежное различение повышает качество восприятия речевой информации в коммуникативных ситуациях, а также способствует улучшению качества восприятия музыки с КИ (Drennan & Rubinstein, 2008; Bradley, 2016; Lehmann & Paquette, 2015).

В исследовании приняли участие 36 пациентов после односторонней имплантации с опытом использования КИ (ТЕМРО+, ОПУС-2; МЕД-ЕЛ) не менее

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ, ИССЛЕДОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

3 месяцев. У большинства пациентов (79%) операция была проведена на правом ухе. Среди них 21 были взрослыми постлингвальными пациентами в возрасте от 19 до 60 лет, а 15 – представляли группу детей и подростков (от 8 до 16 лет) с долингвальной глухотой. Всем участникам тренинга предъявляли набор речевых стимулов из 20 коротких предложений с утвердительной или вопросительной интонацией, произнесенных 4 дикторами (2 мужчины и 2 женщины с ЧОТ в диапазоне от 90 до 240 Гц). Анализ результатов проводили на основе сравнения показателей тестирования до и после обучения.

Серия 3

В этой части работы оценивали потенциал тренинга пространственного восприятия у пациентов с односторонним протезированием на основе дополнительного анализа полученных данных (Огородникова, Королева, Пак, 2020). В экспериментах участвовали 25 человек в возрасте от 9 до 39 лет с различным речевым статусом: 10 постлингвальных и 15 долингвальных пациентов. Опыт использования кохлеарного импланта у всех участников превышал 1 месяц. У 5 пациентов имплантация была левосторонней (левое ухо с КИ), у остальных – правосторонней (правое ухо с КИ).

Монауральное протезирование обеспечивает высокий уровень развития и восстановления речевой коммуникации человека, но ограничивает качество пространственного восприятия (Блауэрт, 1979; Альтман, 2011; Akeroyd, 2014; Kumpik & King, 2019). В то же время перцептивная основа для его развития сохраняется и базируется на сенсорном опыте сравнения спектральных и амплитудных характеристик звуковой стимуляции обеих ушей (Висков, 1975; Блауэрт, 1979; Strelnikov, Rosito & Barone, 2011; Akeroyd, 2014; Ahveninen, Kopčo, Jääskeläinen, 2014; Risoud et al., 2018; Kumpik & King, 2019; Ludwig et al., 2021; Dillon et al., 2022). Для проверки эффективности тренинга пространственного восприятия у пользователей с одним КИ была использована простая методическая схема организации стимуляции с помощью разработанных программных средств. Предъявляемые сигналы соответствовали звуковым последовательностям из 5 щелчков, имитирующим изменение латеральной позиции неподвижного источника звука или его движение на основе согласованных характеристик интенсивности звучания для 2-х реальных динамиков (Огородникова, Королева, Пак, 2005). В задачи пациентов входили: определение локализации источника звука (левый или правый динамик); обнаружение виртуального движения (источник стоит или движется); различение направления виртуального движения (перемещение источника справа-налево или слева-направо).

Общие условия исследования

Группы пациентов в разных сериях не пересекались. Тестирование и занятия проводили в специальном тихом помещении при отсутствии акустических помех,

на комфортном уровне интенсивности стимуляции (65–70 дБ УЗД). Для стимуляции использовали динамики Logitech S100, расположенные фронтально (70 см от слушателя). При тренировке пространственного восприятия динамики разносили на расстояние в 1 м друг от друга, под углом в 45° справа и слева от центральной позиции (напротив лица пациента).

Все участники тренинга проходили курс обучения и тестирования добровольно в рамках реабилитационных мероприятий. Протокол экспериментальной работы соответствовал руководящим принципам Хельсинкской декларации 1995 г. Каждый участник давал информированное согласие на проведения тренинга и психофизического тестирования. Для участников детского возраста информированное согласие получалось от его родителей. Вся личная информация об участниках была деидентифицирована перед началом анализа результатов.

Результаты

Серия 1

Результаты тестирования до проведения курса тренинга показали, что у большинства подростков из группы риска отказа от КИ недостаточно сформированы базовые операции слухового анализа, особенно при усложнении условий восприятия – распознавание в ситуации голосовой конкуренции (одновременное произнесение разных слов дикторами мужчиной и женщиной).

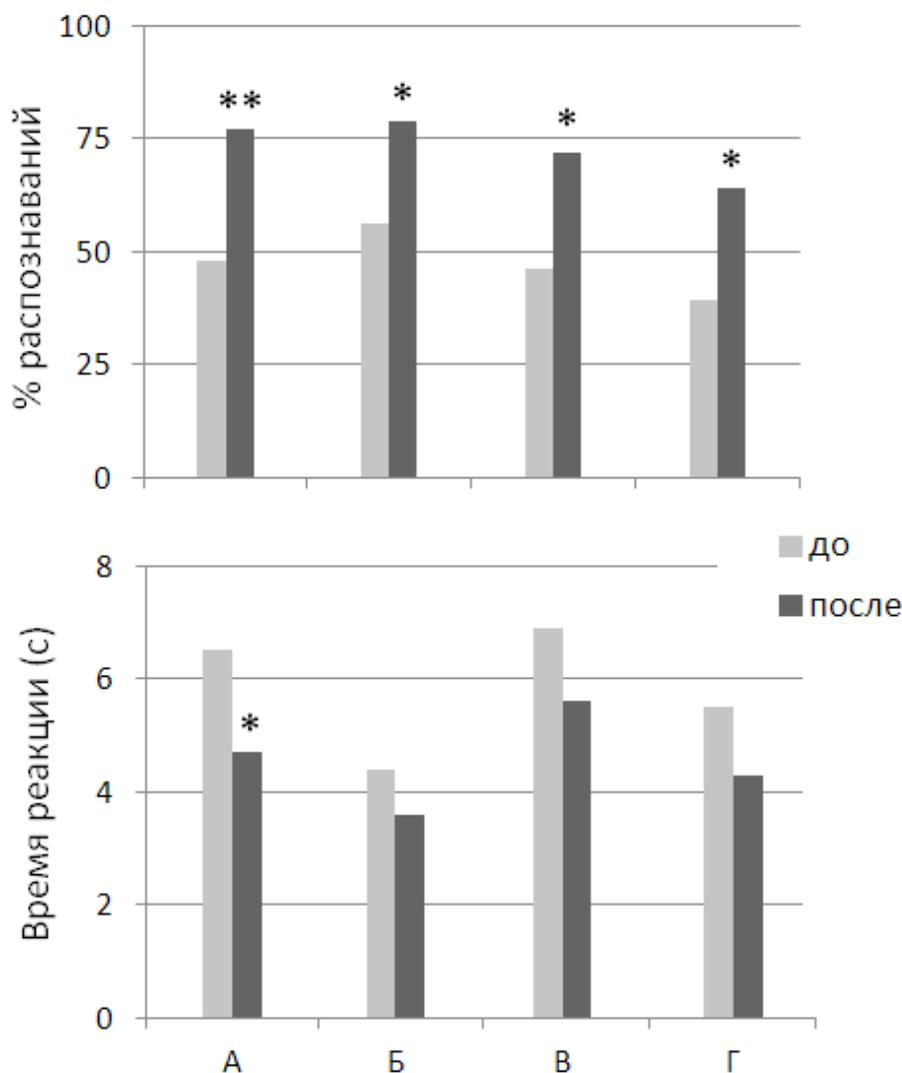
После курса занятий с применением разработанных программных средств по развитию процессов слухоречевого анализа отмечено существенное улучшение показателей в группе, которое наблюдалось как в отношении доли правильных распознаваний (N), так и времени реакции (T) (рис. 2). В то же время индивидуальный разброс результатов оставался весьма значительным, особенно для скорости выполнения заданий.

В отношении фонемных категорий также наблюдалась положительная динамика распознавания (рис. 3а). У большинства подростков в группе она сопровождалась повышением мотивации к слуховому восприятию в КИ. Тенденцию к расширению использования слуха и устной речи в ежедневных ситуациях подтвердили и данные, полученные по шкалам ШСИ и ШИУР (рис. 3б). Значимое улучшение оцениваемых показателей отсутствовало только у 3 подростков с аномалиями улитки.

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ, ИССЛЕДОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Рисунок 2

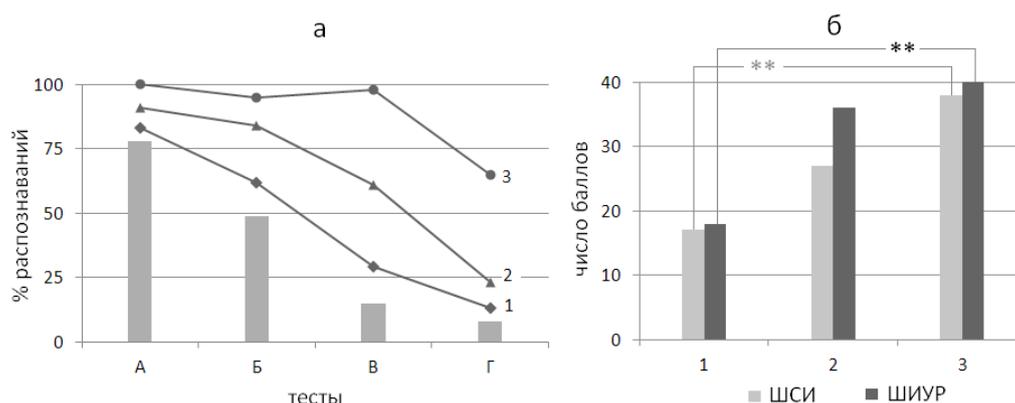
Результаты тестирования до и после курса тренинга в группе риска отказа от использования КИ.



Примечание. Сравнение показателей выполнения тестов на распознавание: А – звуков окружающей среды, Б – голоса дикторов (мужской/женский), В – ритмического рисунка звуковых последовательностей; Г – речевых сигналов (слов) целевого диктора в условиях голосовой конкуренции. По вертикали: число (%) правильных распознаваний (вверху), время (с) реакции (внизу). Обозначения *, ** – уровень достоверности различий по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$ и $p < 0,01$, соответственно).

Рисунок 3

Результаты распознавания фонемных категорий (а) и оценки по шкалам слуховой интеграции и использования устной речи (б) у пациентов группы риска.



Примечание. Обозначения: а – идентификация изолированных гласных (А); идентификация гласных в слогах (Б); идентификация согласных (В); идентификация согласных в слогах (Г); столбики – исходные данные (до курса тренинга); кривые 1–3 – средние показатели на этапах тренинга (1, 3, 6 месяцев занятий); б – 1, 2, 3 средние показатели по шкалам слуховой интеграции (ШСИ) и использования устной речи (ШИУР) через 1, 3 и 6 месяцев тренинга; ** – уровень достоверности различий ($p < 0,01$, критерий Вилкоксона).

В целом, данные серии подтвердили, что у долингвально оглохших детей, имплантированных в подростковом возрасте, есть значительный потенциал развития слухоречевого восприятия с КИ (Королева и др., 2017). Для его активации необходим перцептивный тренинг, направленный на формирование базовой основы слухового анализа неречевых и речевых сигналов. При этом применение новых программных средств повышает его эффективность и способствует постоянному использованию КИ у детей и подростков с дефицитом сенсорного опыта и недостаточной сформированностью центральных механизмов слуха, создавая более благоприятные условия для спонтанного развития у них речевых и языковых навыков.

Серия 2

При оценке восприятия просодических характеристик было обнаружено, что 54% взрослых постлингвальных пользователей КИ способны адекватно определить фразовую интонацию на первом этапе реабилитации на уровне 65–70% правильных распознаваний. В то же время у существенной части таких пациентов (46%) выявлены перцептивные трудности и более низкий показатель распознавания интонации

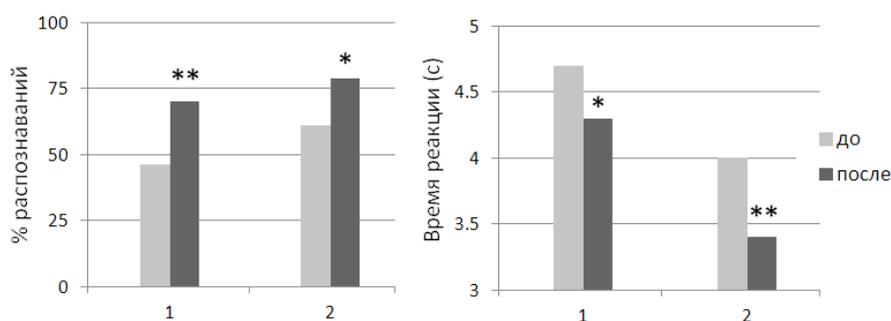
ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ, ИССЛЕДОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

(в среднем, $61 \pm 3,5\%$). У долигвальных подростков с КИ распознавание интонации в речи перед началом тренинга было еще хуже и, в среднем, не достигало уровня в 50%.

Направленный на восприятие и различение интонационных конструкций тренинг (5 обучающих занятий) привел к значимому улучшению ситуации у всех пациентов (рис. 4).

Рисунок 4

Результаты восприятия интонации подростками с долигвальной глухотой (1) и взрослыми с постлингвальной глухотой (2) до и после направленного тренинга с применением программных средств



Примечание. По вертикали: % правильных распознаваний (слева); время реакции (справа). Обозначения: *, ** – уровень достоверности различий ($p < 0,05$, $p < 0,01$, критерий Вилкоксона).

Так, у постлингвальных пользователей КИ число правильных ответов превысило уровень надежного распознавания в 75% и составило $79 \pm 2,7\%$, а время реакции стало меньше на 600 мс. В долигвальной группе распознавание улучшилось на 24%, достигнув, в среднем 70%-ного уровня; время реакции сократилось на 400 мс.

Важно, что полученные данные свидетельствуют о том, что современные технологии КИ обеспечивают условия для адекватного восприятия речевой интонации в русском языке. При этом часть проимплантированных постлингвальных взрослых, не имеющих центральных слуховых расстройств, способна к спонтанному обучению в отношении выделения релевантных для распознавания базовых интонационных конструкций акустических признаков (изменение контура ЧОТ) уже в начальный период использования КИ. Взрослые с КИ, первично демонстрирующие низкие показатели восприятия интонации, нуждаются в направленном тренинге, как и долигвальные дети и подростки. Данные согласуются с результатами современных исследований на материале других языков (Karimi-Boroujeni, Dajani & Giguère, 2023).

Таким образом, результаты этой части работы также подтверждают значительное

возрастание правильных ответов и снижение времени реакции после проведения направленного тренинга, которые свидетельствуют о развитии и закреплении центральных механизмов слухового анализа динамических характеристик речевых сигналов (интонационное изменение основного тона голоса диктора). Кроме того, пользователи КИ вместе с улучшением восприятия речевой интонации отмечали повышение качества повседневного общения и условий общего коммуникативного взаимодействия.

Серия 3

При первом выполнении заданий, связанных с пространственной ориентацией, подавляющему большинству пациентов (92%) потребовались дополнительные пояснения и прогон всего набора тестовых стимулов. Также были резко выражены различия в исходной способности к слуховому пространственному восприятию, особенно в группе долингвальных пациентов с КИ. Об этом наглядно свидетельствовали распределения их результатов в разных сериях измерений по диапазонам полученных оценок с выделением доли (% в группе) «неуспешных» пациентов (менее 50% правильных распознаваний), пациентов со средними показателями (от 51 до 70% правильных распознаваний) и «успешных» пациентов – от 71 до 100% распознаваний (рис. 5).

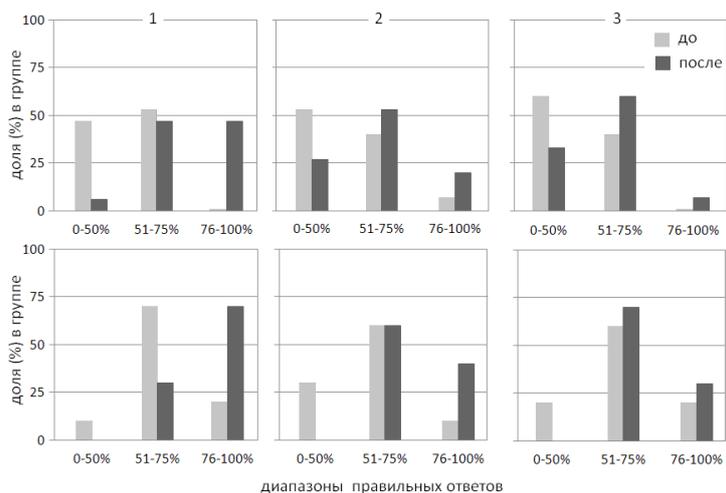
Таким образом, слуховая оценка пространственных характеристик вызвала серьезные затруднения у большинства пациентов, особенно в группе долингвальной глухотой и при выполнении заданий с динамическими изменениями характеристик стимуляции. Эти проблемы свидетельствовали о целесообразности проведения тренинга пространственного восприятия и включения в него заданий, позволяющих формировать/восстанавливать навыки слухового анализа и текущего слежения за перцептивными признаками движения источника звука при монауральном протезировании.

Положительное воздействие тренировки подтвердило увеличение числа пациентов, демонстрирующих более высокий уровень распознавания (диапазоны оценок) при выполнении всех тестовых заданиях. Оно было наиболее выражено у долингвальных пациентов, у которых в начале измерений средний показатель правильных определений латеральной позиции неподвижного источника звука колебался вокруг уровня случайных ответов ($49,4 \pm 8,5$), а после проведения тренинга – существенно превысил его ($73,5 \pm 6,2$). При обнаружении движения и определении его направления достигнутый уровень правильных распознаваний был ниже и составил: 66 и 62% (долингвальные пациенты) и 73 и 71% (постлингвальные пациенты), соответственно. В целом, рост числа правильных выполнений тестовых заданий после тренинга имел значимый характер ($p < 0,01$ по критерию Вилкоксона). Изменение по времени реакции не достигает уровня достоверности, но также хорошо выражено и, в среднем по группе пациентов, снижается на 860 мс.

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ, ИССЛЕДОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Рисунок 5

Распределение долингвальных (вверху) и постлингвальных (внизу) пациентов по диапазонам правильных распознаваний пространственных сигналов до и после тренинга



Примечание. Обозначения: 1 – данные по локализации неподвижного источника звука (справа/слева); 2 – данные по обнаружению движения источника звука (стоит/движется); 3 – данные по определению направления движения источника звука (слева-направо/справа-налево).

Сравнение результатов, полученных в этой серии, подтверждает возможность развития пространственного слуха и способности к акустической ориентации после односторонней кохлеарной имплантации (Strelnikov et al., 2011; Kumpik & King, 2019; Dillon et al., 2022). При этом эффективность обучения подтверждена у пациентов разного возраста с разным речевым статусом до протезирования и при использовании простой схемы стимуляции, доступной для клинической практики и организации занятий как в сурдологических центрах, так и в условиях специального образования детей с нарушениями слухоречевой функции. Важно также отметить решающую роль применения и развития программных средств в этом направлении тренинга, без которых методически трудно обеспечить адекватные условия тренинга пространственного восприятия и закрепления базовых навыков акустической ориентации.

Обсуждение результатов

Результаты исследования показывают, что на процесс восстановления речевого слуха у пользователей КИ влияет целый ряд внутренних факторов, к которым можно отнести период и причины глухоты, сформированность центральных процессов слухоречевого

анализа (сенсорный опыт и речевой статус до глухоты), мотивация к использованию КИ. Их адекватная оценка играет важную роль в организации реабилитационных мероприятий. Большое значение имеет дальнейшая разработка и применение программных средств, позволяющих получить адекватную оценку степени развития и закрепления перцептивных навыков у пользователей КИ. Кроме того, их использование в курсах тренинга существенно расширяет методические возможности и диапазон направлений для развития процессов слухового анализа, а также для коррекции индивидуальных программ реабилитации и основы для спонтанного развития слухоречевой функции речи с КИ. При этом полученные данные демонстрируют возможность достижения таких результатов даже у поздноимплантированных подростков, имевших проблемы с использованием КИ (группа риска).

Результаты свидетельствуют о существенном улучшении способности к различению речевой просодики и к локализации источников звука у большинства пост- и долингвально оглохших пользователей КИ после направленного обучения и слухового тренинга. Они раскрывают потенциал целевого развития базовых процессов слухоречевого анализа, ответственных за адекватную интерпретацию речевой и экстралингвистической информации в процессе коммуникации, а также за восприятие динамических характеристик звуковых сигналов при акустической ориентации (Chen et al., 2013; Ahveninen et al., 2014; Koroleva, Ogorodnikova, 2019; Огородникова и др., 2020; Королева и др., 2021; Li et al., 2021; Ludwig et al., 2021).

Заключение

Применение программного комплекса в проблемных ситуациях, представленных в трех сериях исследования, способствовало достижению положительной динамики в восстановлении и развитии слухоречевой функции и пространственного восприятия у пользователей КИ разного возраста и уровня слухоречевого развития. На основе результатов проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы:

- У долингвально оглохших подростков есть основа для развития слухоречевого восприятия с кохлеарными имплантами (КИ), несмотря на пропущенный сенситивный период для развития слухоречевых центров мозга;
- Для формирования, развития и восстановления процессов слухового анализа как у долингвальных, так и у постлингвальных пользователей КИ необходим направленный тренинг слухоречевой функции;
- Современные модели КИ обеспечивают функциональную основу для развития перцептивных навыков, связанных с выделением и анализом сложных динамических характеристик акустических сигналов (речевая интонация, движение источников звука);
- Применение программных средств существенно расширяет диапазон направлений слухового тренинга при реабилитации пациентов с КИ, позволяет проводить текущую оценку его результатов и коррекцию курса занятий, а также

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ, ИССЛЕДОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

способствует росту мотивации к использованию КИ в повседневных условиях и к спонтанному развитию речи.

- Опыт разработки и практического применения комплекса программных средств свидетельствует о целесообразности их включения в методический инструментарий для оценки динамики и эффективности реабилитации пациентов с КИ не только в центрах кохлеарной имплантации, но и в территориальных сурдоцентрах и в образовательных учреждениях, где обучаются школьники с нарушенным слухом.

Литература

- Альтман, Я. А. (2011). *Пространственный слух*. ИФ РАН.
- Блауэрт, Й. (1979). *Пространственный слух*. Энергия.
- Бобошко, М. Ю., Гарбарук, Е. С., Жилинская, Е. В., Салахбеков, М. А. (2014). Центральные слуховые расстройства (обзор литературы). *Российская оториноларингология*, 5.
- Боровлева, Р. А. (2014). Первые реабилитационные занятия после кохлеарной имплантации с оглохшими взрослыми. *Дефектология*, 5, 15–25.
- Брызгунова, Е. А. (1977). *Звуки и интонация русской речи*. Русский язык.
- Висков, О. В. (1975). О восприятии движения слитного слухового образа. *Физиология человека*, 1(2), 371–376.
- Гвоздева, А. П., Ситдииков, В. М., Андреева, И. Г. (2020). Скрининговый метод оценки пространственной и временной разрешающей способности слуха при локализации движения по азимутальной координате. *Российский физиологический журнал*, 106(9), 1170–1188. <https://doi.org/10.31857/S0869813920090113>
- Ермаков, П. Н., Горелов, В. Ю. (2022). Модель психического у лиц со стойкими нарушениями слуха. *Российский психологический журнал*, 19(4), 137–147. <https://doi.org/10.21702/rpj.2022.4.9>
- Королева, И. В. (2014). *Учусь слушать и говорить. Методические рекомендации по развитию слухоречевого восприятия и устной речи у детей после кохлеарной имплантации на основе «слухового» метода (с комплектом 3 тетрадей)*. КАРО.
- Королева, И. В. (2016). *Реабилитация глухих детей и взрослых после кохлеарной и стволомозговой имплантации*. КАРО.
- Королева, И. В., Огородникова, Е. А., Пак, С. П., Левин, С. В., Балякова, А. А., Шапорова, А. В. (2013). Методические подходы к оценке динамики развития процессов слухоречевого восприятия у детей с кохлеарными имплантами. *Российская оториноларингология*, 3, 75–85.
- Королева, И. В., Огородникова, Е. А., Левин, С. В., Пак, С. П. (2016). Восприятие речевой интонации пациентами с кохлеарными имплантами. *Сенсорные системы*, 30(4), 326–332.
- Королева, И. В., Огородникова, Е. А., Пак, С. П., Левин, С. В. (2017). Значение центральных механизмов слуха в восстановлении восприятия речи у глухих пациентов после кохлеарной имплантации. *Специальное образование*, 47(3), 100–112.
- Королева, И. В., Огородникова, Е. А., Левин, С. В., Пак, С. П., Кузовков, В. Е., Янов, Ю. К. (2021). Использование психоакустических тестов для перцептивной оценки настройки процессора кохлеарного импланта у глухих пациентов. *Вестник оториноларингологии*, 86(1), 30–35. <https://doi.org/10.17116/otorino20218601130>
- Миронова, Э. В., Сатаева, А. И., Фроленкова, И. Д. (2005). Развитие речевого слуха у говорящих детей после кохлеарной имплантации. *Дефектология*, 1, 57–64.
- Огородникова, Е. А., Королева, И. В., Пак, С. П. (2005). *Способ реабилитации функции*

- акустической ориентации и ее оценки у пациентов с КИ. Патент на изобретение №2265426.
- Огородникова, Е. А., Королева, И. В., Люблинская, В. В., Пак, С. П. (2008). Компьютерная тренажерная система для реабилитации слухоречевого восприятия у пациентов после операции кохлеарной имплантации *Российская оториноларингология*, приложение 1, 342–347.
- Огородникова, Е. А., Королева, И. В., Пак, С. П. (2020). Восприятие пространственных характеристик звуковых сигналов пациентами после односторонней кохлеарной имплантации. *Вестник психофизиологии*, 3, 195–199.
- Руленкова, Л. И., Смирнова, О. И. (2003). *Аудиология и слухопротезирование*. Академия.
- Светозарова, Н. Д. (1982). *Интонационная система русского языка*. ЛГУ.
- Солодухин, А. В., Яницкий, М. С., Серый, А. В. (2020). К проблеме выбора коррекционных компьютерных программ для восстановления когнитивных функций у пациентов кардиологического профиля. *Российский психологический журнал*, 17(1), 5–14. <https://doi.org/10.21702/rpj.2020.1.1>
- Таварткиладзе, Г. А. (2013). *Руководство по клинической аудиологии*. Медицина.
- Ahveninen, J., Корчо, N., & Jääskeläinen, I. P. (2014). Psychophysics and neuronal bases of sound localization in humans. *Hearing research*, 307, 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.07.008>
- Akeroyd, M. A. (2014). An overview of the major phenomena of the localization of sound sources by normal-hearing, hearing-impaired, and aided listeners. *Trends in Hearing*, 18. <https://doi.org/10.1177/2331216514560442>
- Bradley, E. D. (2016). Phonetic dimensions of tone language effects on musical melody perception. *Psychomusicology*, 26(4), 337–345. <https://doi.org/10.1037/pmu0000162>
- Chen, X., Liu, B., Liu, S., Mo, L., Li, Y., Kong, Y., Zheng, J., Gong, S., & Han, D. (2013) Cochlear implants with fine structure processing improve speech and tone recognition in Mandarin-speaking adults. *Acta Oto-Laryngologica*, 133(7), 733–738. <https://doi.org/10.3109/00016489.2013.773595>
- Chen, Y., Wong, L. L. N., Chen, F., & Xi, X. (2014). Tone and sentence perception in young Mandarin-speaking children with cochlear implants. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 78(11), 1923–1930. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2014.08.025>
- Dillon, M. T., Rooth, M. A., Canfarotta, M. W., Richter, M. E., Thompson, N. J., & Brown, K. D. (2022). Sound Source Localization by Cochlear Implant Recipients with Normal Hearing in the Contralateral Ear: Effects of Spectral Content and Duration of Listening Experience. *Audiology and Neurotology*, 27(6), 437–448. <https://doi.org/10.1159/000523969>
- Drennan, W. R., & Rubinstein, J. T. (2008). Music perception in cochlear implant users and its relationship with psychophysical capabilities. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 45(5), 779–789. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2007.08.0118>
- Harris, M. S., Capretta, N. R., Henning, S. C., Laura Feeney, L., Pitt, M. A., & Moberly, A. C. (2016). Postoperative Rehabilitation Strategies Used by Adults With Cochlear Implants: A Pilot Study. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology*, 1(3), 42–48. <https://doi.org/10.1002/lio2.20>
- Karimi-Boroujeni, M., Dajani, H. R., & Giguère, C. (2023). Perception of Prosody in Hearing-Impaired Individuals and Users of Hearing Assistive Devices: An Overview of Recent Advances. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 66(4), 1–15. https://doi.org/10.1044/2022_JSLHR-22-00125
- Koroleva, I. V., & Ogorodnikova, E. A. (2019). Chapter 30: Modern achievements in cochlear and brainstem auditory implantation. Yu. Shelepin, E. Ogorodnikova, N. Solovyev, E. Yakimova (eds.). In: *Neural Networks and Neurotechnologies*. Publish by VVM.
- Kumpik, D. P., & King, A. J. (2019). A review of the effects of unilateral hearing loss on spatial hearing. *Hearing Research*, 372, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.08.003>

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ, ИССЛЕДОВАНИЕ КОГНИТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

- Lehmann, A., & Paquette, S. (2015). Cross-domain processing of musical and vocal emotions in cochlear implant users. *Frontiers in Neuroscience*, 9, 343. <https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00343>
- Li, Y., Tang, C., Lu, J., Wu, J., & Chang, E. F. (2021). Human cortical encoding of pitch in tonal and non-tonal languages. *Nature Communications*, 12(1), 1161. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21430-x>
- Loizou, P. (1998). Mimicking the human ear: an overview of signal processing strategies for converting sound into electrical signals in cochlear implants. *IEEE Signal Processing Magazine*, 98, 101–130.
- Ludwig, A. A., Meuret, S., Battmer, R.-D., Schönwiesner, M., Fuchs, M., & Ernst, A. (2021). Sound Localization in Single-Sided Deaf Participants Provided With a Cochlear Implant. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.753339>
- Marx, M., James, Ch., Foxton, J., Capber, A., Fraysse, B., Barone, P., & Deguine, O. (2015). Speech Prosody Perception in Cochlear Implant Users With and Without Residual Hearing. *Ear & Hearing*, 36(2), 239–248. <https://doi.org/10.1097/AUD.000000000000105>
- Moore, B. C. J. (2012). *An Introduction to the Psychology of Hearing*. Brill.
- Musiek, F. E., & Chermak, G. D. (2014). *Handbook of central auditory processing disorder*. In: Auditory neuroscience and diagnosis. Plural Publishing.
- Risoud, M., Hanson, J. N., Gauvrit, F., Renard, C., Lemesre, P. E., Bonne, N. X., & Vincent, C. (2018). Sound source localization. *European annals of otorhinolaryngology, head and neck diseases*, 35(4), 259–264. <https://doi.org/10.1016/j.anorl.2018.04.009>
- Strelnikov, K., Rosito, M., & Barone, P. (2011). Effect of Audiovisual Training on Monaural Spatial Hearing in Horizontal Plane. *PLoS ONE*, 6(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018344>
- Wang, S., Liu, B., Dong, R., Zhou, Y., Li, J., Qi, B., Chen, X., Han, D., & Zhang, L. (2012). Music and lexical tone perception in Chinese adult cochlear implant users. *Laryngoscope*, 122(6), 1353–1360. <https://doi.org/10.1002/lary.23271>
- Wilson, B. S., & Dorman, M. F. (2008). Cochlear implants: A remarkable past and a brilliant future. *Hearing Research*, 242(1–2), 3–21. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2008.06.005>
- Zamiri, A. F., Ahmadi, T., Joulaie, M., & Darouie, A. (2017). Cochlear Implant in Children. *Global Journal of Otolaryngology*, 8(5). <https://doi.org/10.19080/GJO.2017.08.555749>

Поступила в редакцию: 10.05.2023

Поступила после рецензирования: 29.06.2023

Принята к публикации: 10.07.2023

Заявленный вклад авторов

Королева Инна Васильевна – разработка дизайна исследования, подбор и тестирование пациентов, анализ результатов, подготовка разделов «Введение» и «Заключение».

Балякова Анна Александровна – участие в тренировке пациентов (серия 1), первичная обработка данных пациентов и описание результатов серии.

Столярова Эльвира Ивановна – участие в тренировке пациентов (серия 2),

первичная обработка данных пациентов и описание результатов серии.

Пак Сергей Павлович – участие в подготовке методики, в тренировке пациентов (серия 3), первичная обработка данных и описание результатов серии.

Огородникова Елена Александровна – обобщение и анализ результатов исследования, описание методики исследования, подготовка иллюстративного материала и списка литературы, подготовка и редактирование текста статьи.

Информация об авторах

Королева Инна Васильевна – доктор психологических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи» Минздрава РФ, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; научный руководитель реабилитации СПб ГКУЗ «Детский городской сурдологический центр», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; WoS Researcher ID: P-5261-2014; Scopus Author ID 16484270100; РИНЦ AuthorID: 77138; SPIN-код РИНЦ: 5428-3801; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8909-4602>; e-mail: [prof.inna.koroleva@mail.ru](mailto:inna.koroleva@mail.ru)

Балякова Анна Александровна – кандидат биологических наук, научный сотрудник ФГБУН Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ AuthorID: 822420; SPIN-код РИНЦ: 9949-8283; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6408-0335>; e-mail: anna_baliakova@mail.ru

Столярова Эльвира Ивановна – научный сотрудник ФГБУН Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; РИНЦ AuthorID: 77137; SPIN-код РИНЦ: 9196-9852; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4784-6156>; e-mail: elvirast74@gmail.com

Пак Сергей Павлович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; WoS Researcher ID: ABB-2147-2020; Scopus Author ID: 57189102246; РИНЦ AuthorID: 77135; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5566-8866>; e-mail: sppark@mail.ru

Огородникова Елена Александровна – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией психофизиологии речи ФГБУН Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; WoS Researcher ID: J-5805-2018; Scopus Author ID: 6601968454; РИНЦ AuthorID: 11314; SPIN-код РИНЦ: 7118-2148; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8177-0431>; e-mail: ogorodnikovaea@infran.ru

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.