

© Team of authors, 2025 / © Коллектив авторов, 2025  
3.1.3. Otorhinolaryngology / 3.1.3. Оториноларингология

## Cochlear implant processor settings for children

E.S. Savelev <sup>1,2</sup>, E.E. Saveleva <sup>3</sup>, V.I. Popadyuk <sup>1</sup>, A.S. Machalov <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russia Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

<sup>2</sup>The National Medical Research Center of Otorhinolaryngology of the Federal Medical and Biological Agency, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ufa, Russia

Contacts: Evgeny Sergeevich Savelev – e-mail: savelevzheny@yandex.ru

## Параметры настройки процессора кохлеарного импланта у детей

Е.С. Савельев <sup>1,2</sup>, Е.Е. Савельева <sup>3</sup>, В.И. Попадюк <sup>1</sup>, А.С. Мачалов <sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии» Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Башкирский государственный медицинский университет Минздрава РФ, Уфа, Россия

Контакты: Савельев Евгений Сергеевич – e-mail: savelevzheny@yandex.ru

## 儿童人工耳蜗处理器设置

E.S. Savelev <sup>1,2</sup>, E.E. Saveleva <sup>3</sup>, V.I. Popadyuk <sup>1</sup>, A.S. Machalov <sup>2</sup>

<sup>1</sup>俄罗斯联邦人民友谊大学 (RUDN University), 莫斯科, 俄罗斯

<sup>2</sup>俄罗斯联邦医学与生物学署国家耳鼻喉科学医学研究中心, 莫斯科, 俄罗斯

<sup>3</sup>俄罗斯联邦卫生部巴什基尔国立医科大学, 乌法, 俄罗斯

联系人: Evgeny Sergeevich Savelev – e-mail: savelevzheny@yandex.ru

**Background.** The introduction of cochlear implantation (CI) in the Russian Federation has enabled children with severe sensorineural hearing loss and deafness to compensate for their hearing loss. For successful rehabilitation of a child after CI, the following are necessary: availability of competent specialists, motivation of the child's parents, monitoring of the technical condition of the inner and outer parts and optimal adjustment of the speech processor (SP). If the stimulation parameters of the SP are not selected properly, the child may experience distorted speech perception. This article reviews visual reinforcement audiometry (VRA – Visual Reinforcement Audiometry) as a method for selecting SP parameters.

**The aim of the study.** To evaluate the possibilities of using the visual reinforcement audiometry (VRA) method for programming and selecting the parameters of the SP.

**Material and methods.** The study group consisted of 32 children aged 2 to 6 years (4,42±0,17) who used CI monaurally and had more than 1 year of experience using SP. All children made audiometry in a free sound field at frequencies of 500–4000 Hz on the main listening program before and after fitting. Additionally, 19 children underwent play-based audiometry, while 13 children underwent audiometry with visual reinforcement. The data obtained were used to correct the settings of the main SP listening program.

**Results.** Programming SP using subjective psychoacoustic tests - game audiometry and audiometry with visual reinforcement – significantly improved the hearing thresholds on the main SP listening program at the speech frequencies ( $p<0.01$ ). The VRA method can be used in young children up to 2–3 years old and in older children who are behind their peers in speech development and have limited auditory experience and vocabulary.

**Conclusion.** VRA is a simple tool for subjective assessment of hearing thresholds in the speech in children using CI systems.

**Keywords:** cochlear implantation, sensorineural hearing loss, CI fitting, visual reinforcement audiometry, speech audiometry

**Conflict of interest.** The authors declare that they have no conflict of interest.

**Funding.** This study required no funding

**For citation:** Savelev E.S., Saveleva E.E., Popadyuk V.I., Machalov A.S. Cochlear implant processor settings for children. *Head and neck. Head and Neck. Russian Journal.* 2025;13(4):95–103

**Doi:** 10.25792/HN.2025.13.4.95-103

The authors are responsible for the originality of the data presented and the possibility of publishing illustrative material – tables, drawings, photographs of patients.

**Введение.** Внедрение кохлеарной имплантации (КИ) в Российской Федерации позволило детям с выраженной сенсоневральной тугоухостью и глухотой компенсировать потерю слуховой функции. Для успешной реабилитации ребенка после КИ необходимы: доступность компетентных специалистов, мотивация родителей ребенка, мониторинг технического состояния наружной и внутренней частей КИ и оптимальная настройка речевого процессора (РП). При нерациональном выборе параметров стимуляции РП ребенок может искаженно слышать речь. В статье рассматривается метод аудиометрии с визуальным подкреплением (VRA – Visual Reinforcement Audiometry), для выбора параметров РП.

**Цель исследования.** Оценить возможности использования метода игровой аудиометрии с визуальным подкреплением (VRA) для программирования и выбора параметров РП КИ.

**Материал и методы.** В группу исследования были включены 32 ребенка от 2 до 6 лет ( $4,42 \pm 0,17$  года), которые пользовались КИ моноаурально с опытом использования РП более 1 года. Всем детям провели аудиометрию в свободном звуковом поле на частотах 500–4000 Герц (Гц) на основной «рабочей» программе прослушивания РП до и после настройки РП. Причем у 19 детей использовали игровую аудиометрию, а у 13 детей использовали игровую аудиометрию с визуальным подкреплением. Полученные данные были использованы для коррекции настроек основной программы прослушивания РП.

**Результаты.** Настройка РП с использованием субъективных психоакустических тестов – игровой аудиометрии и аудиометрии с визуальным подкреплением достоверно улучшило пороги слуха на основной программе прослушивания РП на основных речевых частотах ( $p < 0,01$ ). Метод VRA может применяться у маленьких детей до 2–3 лет и у более старших детей, которые отстают от своих сверстников в развитии речи и имеют небольшой слуховой опыт и словарный запас.

**Выводы.** VRA является простым инструментом субъективной оценки порогов слуха в речевом диапазоне частот при использовании РП у детей с различными системами КИ.

**Ключевые слова:** кохлеарная имплантация, сенсоневральная тугоухость, настройка процессора кохлеарного импланта, аудиометрия с визуальным подкреплением, речевая аудиометрия

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Это исследование не потребовало дополнительного финансирования.

**Для цитирования:** Савельев Е.С., Савельева Е.Е., Попадюк В.И., Мачалов А.С. Параметры настройки процессора кохлеарного импланта у детей. *Head and neck. Голова и шея. Российский журнал.* 2025;13(4):95–103

**Doi:** 10.25792/HN.2025.13.4.95-103

Авторы несут ответственность за оригинальность представленных данных и возможность публикации иллюстративного материала – таблиц, рисунков, фотографий пациентов.

背景：人工耳蜗（CI）的引入，使俄罗斯联邦境内重度感音神经性听力损失及聋儿的听力得以补偿。要实现CI术后儿童的成功康复，需具备以下条件：专业人员的胜任能力、患儿家长的充分配合与动机、对植入体内外部件技术状态的监控以及语音处理器（SP）的最佳参数设置。如果SP的刺激参数选择不当，患儿可能出现言语感知失真。本文探讨将视觉强化测听（VRA, Visual Reinforcement Audiometry）作为语音处理器参数选择方法的可能性。

研究目的：评估视觉强化测听（VRA）在CI语音处理器编程与参数选择中的应用价值。

材料与方法：研究纳入32名使用单侧CI的儿童，年龄2–6岁（平均 $4.42 \pm 0.17$ 岁），均已使用语音处理器超过1年。所有患儿在自由声场内，于500–4000 Hz频率范围，在主要聆听程序下分别于调机前后完成测听。此外，其中19名儿童接受游戏测听，13名儿童接受视觉强化测听。所得资料用于修正语音处理器主要聆听程序的设置。

结果：基于主观精神声学试验（游戏测听及视觉强化测听）进行语音处理器编程，可显著改善主要聆听程序下言语频率范围内的听阈（ $p < 0.01$ ）。VRA方法既适用于2–3岁以下的低龄儿童，也适用于言语发育落后于同龄人、听觉经验和词汇量受限的较大年龄儿童。

结论：VRA是一种简便的工具，可用于评估使用人工耳蜗系统儿童在言语频率范围内的主观听阈。

关键词：人工耳蜗植入，感音神经性听力损失，人工耳蜗调机，视觉强化测听，言语测听

利益冲突：作者声明无利益冲突。

经费支持：本研究未获得任何经费资助。

引用格式：Savelev E.S., Saveleva E.E., Popadyuk V.I., Machalov A.S. Cochlear implant processor settings for children. *Head and neck. Head and Neck. Russian Journal.* 2025;13(4):95–103

**Doi:** 10.25792/HN.2025.13.4.95-103

作者对所呈现数据的原创性以及发表插图材料（表格、图示、患者照片）的可能性负责。

## Введение

Кохлеарный имплантат (КИ) – это хирургически имплантируемое устройство для реабилитации тяжелой и глубокой нейросенсорной тугоухости у детей и взрослых. Процессор системы КИ преобразует акустическую энергию в электрический сигнал, который используется для стимуляции сохранившихся клеток спирального ганглия слухового нерва. Непрерывное совершенствование стратегий программирования, конструкции устройств и минимально инвазивных хирургических методов продемонстрировало безопасность и эффективность операций по установке КИ [1]. Кохлеарная имплантация – постоянно развивающаяся технология с непрерывным совершенствованием технических характеристик самого устройства, хирургического пособия, методов настройки процессоров КИ и методик реабилитации [2–4].

Качество настройки процессора КИ определяет возможности ребенка комфортно воспринимать весь частотный и динамический диапазон окружающих неречевых и речевых звуков, развитие способности дифференцировать и, благодаря этому, распознавать звуки и речь. Чем точнее определены индивидуальные параметры настройки речевого процессора (РП) ребенка, тем быстрее он начнет различать и узнавать окружающие звуки и, следовательно, эффективнее будет его слухоречевое развитие [5].

При настройке РП сурдологи используют электрофизиологические и психоакустические методы. С их помощью определяют: стратегию кодирования РП, пороги восприятия звука (T-level – threshold level), уровни комфортной громкости (C-comfortable level, MCL – most comfortable level), динамический диапазон и другие параметры. Причем определение порогов максимально допустимого (MCL) и минимально допустимого (T-level) уровней стимуляции являются важнейшей задачей для оптимальной настройки РП. Психоакустические методы настройки РП, основанные на субъективной оценке, базируются на ответных реакциях ребенка на электрическую стимуляцию слухового нерва. Объективные методы выбора параметров настройки РП не требуют ответной реакции ребенка [4, 6–8].

Наиболее известным и практически часто используемым тестом является определение порога электрически вызванного потенциала действия слухового нерва методом телеметрии нервного ответа слухового нерва (ECAP – Evoked Compound Action Potentials). У различных производителей систем КИ данный метод используется в виде специального теста в специализированной программе для настройки РП (NRT, NRI, ART, autoART). Также находит применение объективный тест регистрации стапедального рефлекса на электрическую стимуляцию (eSRT – electrically evoked Stapedius Reflex Thresholds), однако этот тест, помимо стандартного оборудования соответствующего производителя для настройки РП (программатор), требует наличия акустического импедансометра для записи стапедального рефлекса. Метод регистрации электрически вызванных потенциалов ствола мозга (ЭКБП, eABR – electrically-evoked Auditory Brainstem Response) также требует наличия дополнительного оборудования в виде прибора для регистрации слуховых вызванных потенциалов мозга [3–6, 8–13].

Электрически вызванный потенциал действия слухового нерва (ECAP – Electrically Evoked Compound Action Potential), или телеметрия слухового нерва, являющийся ответом волокон слухового нерва, является наиболее простым объективным тестом, который не требует дополнительного оборудования. В

практике данный метод широко используется для настроек РП у маленьких детей, которые не могут выполнить инструкции врача и не вступают в контакт со специалистами.

Известно, что в ранние сроки после проведения операции КИ параметры ECAP могут варьироваться, причем наибольшие изменения наблюдаются в первые 6 месяцев после имплантации, а затем отклонения значительно уменьшаются и показатели ECAP стабилизируются [14, 15].

Многие исследователи изучали корреляцию между порогами ECAP и субъективными поведенческими порогами у пользователей различными системами КИ. J.G. Kiss показал, что пороги ECAP (NRT) не могут точно определить комфортный уровень MCL на примере 23 детей с имплантатами компании Cochlear (Австралия) [16]. В то же время он показал, что C-уровни индивидуальной карты РП коррелируют с порогами ECAP (NRT) и данные пороги могут помочь построению индивидуальной настроечной карты у детей, которые не выполняют психоакустические тесты и не могут выполнить игровую аудиометрию.

Максимальная корреляция между психоакустическими порогами MCL и уровнями ECAP наблюдается через 6–12 месяцев после первичного подключения процессора КИ, хотя она индивидуальна и варьируется от средней до сильной [3]. V.R. Pradeep рекомендует обязательно использовать поведенческие психоакустические методы настройки РП при выборе пороговых уровней стимуляции (T-level) и порогов комфортной громкости (MCL-level), а пороги теста ECAP могут использоваться при первичной настройке процессора преимущественно у детей, которые не могут выполнить субъективные психоакустические тесты [17]. A. Zarowski и соавт. в 2020 г. опубликовали исследование, в котором констатируется, что определенные пороговые значения ECAP способны оценить от 2 до 14% изменчивости уровней T и MCL [18].

На примере 10 детей с имплантами компании Advanced Bionics (AB) S. Raghunandhan и соавт. показали положительную корреляцию порогов ECAP с поведенческими MCL-уровнями [19]. Несмотря на это авторы указывают, что у некоторых детей имелись существенные отклонения в уровнях MCL, определенных поведенческими тестами от прогнозируемых по электрически измеренным значениям ECAP. В связи с этим исследователи делают вывод, что поведенческие психоакустические тесты должны быть обязательны для настроек РП [18].

В работах И.В. Королевой и соавт. также показано, что для индивидуализации настроечных карт, улучшения разборчивости речи, комфортного восприятия речевых и неречевых звуков требуется коррекция настроек с учетом обратного ответа от ребенка [5]. Это выполняется во время периодических настроечных сессий [5], во время которых используются субъективные методы настройки, помогающие сурдологу оптимально выбрать параметры стимуляции РП, обеспечивая наиболее комфортное звучание для ребенка и оптимальную разборчивость речи. Специалист-сурдолог последовательно подает электрические импульсы на каждый электрод КИ. Если ребенок воспринимает эти импульсы как звуковые сигналы, то устно сообщает об этом исследователю или выполняет какое-то действие, например собирает пирамидку по аналогии с игровой аудиометрией. Специалист определяет пороговый (T) и максимально комфортный (MCL) уровни электрической стимуляции, которые устанавливаются в РП [5].

Оценка качества настройки РП и эффективности КИ является основной задачей в процессе послеоперационной реабилитации ребенка. Некорректная настройка РП может стать причиной

отсутствия развития речи ребенка, замедления развития его когнитивных навыков. Известны различные способы оценки эффективности КИ: тональная пороговая аудиометрия в свободном звуковом поле, речевая аудиометрия в свободном звуковом поле в тишине и шуме, оценка результатов использования КИ путем заполнения специальных анкет и динамическая оценка слухоречевого развития ребенка [4, 20–24].

Одним из наиболее простых методов субъективной оценки настройки РП, позволяющего оценить тональные пороги в речевом диапазоне и получить представление о минимальных уровнях восприятия на различных частотах при использовании КИ, является тональная пороговая аудиометрия в свободном звуковом поле. Данная методика требует выработки условно-двигательного рефлекса (УДР) у ребенка, что требует дополнительных временных затрат, работы команды специалистов (сурдолог, сурдопедагог, дефектолог, родители и др.). В некоторых случаях выработка УДР затруднена в связи с возрастом ребенка (до 2–3 лет), наличием сопутствующей патологии или отставанием в слухоречевом развитии при «поздней» имплантации и недостаточным слуховым опытом. В этих случаях возможно применять метод аудиометрии с визуальным подкреплением (VRA).

Цель исследования. Оценить возможности использования метода игровой VRA для программирования и выбора параметров речевого процессора КИ.

## Материал и методы

В группе, включившей 32 ребенка от 2 до 6 лет ( $4,42 \pm 0,17$  года), использующих различные системы КИ: Medel, Cochlear, Advanced Bionics, провели оценку тональных порогов слуха в речевом процессоре и использовали их для коррекции параметров настроечной карты. В группу включались дети, которые пользовались КИ моноаурально. Все дети группы исследования имели опыт использования КИ более 1 года. Дети с неисправными компонентами РП в группу исследования не включались.

Для настройки процессоров КИ и записи электрически вызванного потенциала действия слухового нерва использовали ноутбук с установленными программами производителей КИ Custom Sound 6.3 (Cochlear Ltd, Австралия), Maestro 9.0 (Med-El, Австрия) и SoundWave 3 (Advanced Bionics, США) и соответствующие им программаторы для настроек РП. Измерение ECAP (NRT, NRI, ART) проводили в автоматическом режиме по всем электродам.

Для определения тональных порогов слуха использовали тональную пороговую игровую аудиометрию, а у детей, которые не могли выполнить игровую аудиометрию, применяли VRA. Исследование проводили на клиническом двухканальном аудиометре AC40e (Interacoustics). Дополнительно у 19 детей, которые смогли выполнить речевую аудиометрию, провели анализ разборчивости речи как в тишине, так и в шуме с целью оценки эффективности проведенной настроечной сессии. С этой целью использовали Русский речевой материал (Riehakanen, Boboshko, 2019) [23]. С целью оценки проведенной настроечной сессии все дети группы исследования были проконсультированы сурдопедагогом до настройки, во время настройки и через 2 недели после настройки РП.

Статистическая обработка результатов исследования была проведена на персональном компьютере с помощью прикладного пакета программ Microsoft Excel и «Statistica». Принятие или отвержение всех статистических гипотез осуществлялось на уровне  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждение

Всем детям группы исследования ( $n=32$ ) провели настройку РП КИ на основании субъективных психоакустических тестов игровой аудиометрии. После измерения импеданса (сопротивления) электродов, провели регистрацию электрически вызванного потенциала действия слухового нерва ECAP (NRT, NRI, ART) в автоматическом режиме. Всем детям группы исследования провели аудиометрию в свободном звуковом поле на частотах 500–4000 Гц на основной программе прослушивания РП до настройки РП и на основании полученных данных внесли коррекцию в настроечную карту РП КИ. У 19 детей была использована тональная пороговая игровая аудиометрия, а у 13 детей – игровая VRA. В данной группе детей ( $n=13$ ) применялась условно-двигательная реакция ребенка с визуальным подкреплением. Визуальное подкрепление было в виде ярких картинок игрушек на экране монитора из программы Maestro 9.0 (Med-El) (рис. 1).

Игровую аудиометрию дети данной группы выполнить не смогли: 4 детей относились к возрастной группе 2–3 года, а 9 детей отставали от своих сверстников в слухоречевом развитии, имели небольшой слуховой опыт и словарный запас, в связи с чем не могли корректно выполнить тест игровой аудиометрии. В то же время дети этой группы интересовались яркой картинкой на мониторе и в результате кратковременной тренировки, необходимой для выработки УДР на звук, смогли в итоге выполнить тест игровой VRA. Срок выработки УДР с визуальным подкреплением составил в нашей группе наблюдения от 30 минут до 2 суток.

В качестве оборудования использовали клинический двухканальный аудиометр и откалиброванные колонки. В качестве стимулов подавали тональные сигналы (warble tones) в диапазоне речевых частот 500–4000 Гц в свободном звуковом поле через акустические громкоговорители. У каждого ребенка группы исследования тестировали основную программу процессора до настройки и внесли коррекцию в настроечную карту, после чего повторно проводили мониторинг порогов слуха на этих же частотах непосредственно во время настройки РП, который был подключен к оборудованию (программатор) для настройки процессора КИ (рис. 2).

Во время программирования добивались, чтобы полученные пороги слуха на основных частотах находились в диапазоне от 25 до 35 дБ, т.к. согласно данным И.В. Королевой и соавт. при правильной настройке РП пороги слуха ребенка на основной программе прослушивания должны составлять  $30 \pm 5$  дБ [5]. Если на отдельных частотах пороги не соответствовали этому критерию, то проводили коррекцию настройки РП именно на этих частотах. После коррекции настроечной карты проводили повторно игровую аудиометрию в свободном поле с визуальным подкреплением и оценивали полученный порог слуха именно на этой частоте. Таким образом, полученные данные в результате игровой аудиометрии с визуальным подкреплением были использованы нами для коррекции настроек основной программы прослушивания РП. Аналогичным образом проводили настройку основной программы прослушивания РП в группе детей, которые могли выполнить игровую аудиометрию без визуального подкрепления.

В нашей группе исследования корреляционная зависимость объективных тестов ECAP с комфортным уровнем (C-level/MCL-level) до настройки РП была индивидуальна у каждого ребенка и различна на разных электродах, но в большинст-





Рис. 1. Проведение аудиометрии с визуальным подкреплением в виде яркой картинкой программы Maestro 9.0 (Med-El) (фото автора Е.С. Савельева)

1 — мама с ребенком-пользователем системы КИ, 2 — монитор с яркой картинкой, 3 — откалиброванная колонка, 4 — клинический двухканальный аудиометр AC40e, 5 — сурдолог, настраивающий РП, 6 — ноутбук с подключенным программатором, 7 — соединяющий кабель между речевым процессором (РП) и программатором.

Fig. 1. Conducting audiometry with visual reinforcement in the form of a bright picture from the Maestro 9.0 (Med-El) software (photo by author E.S. Savelyeva)

1 — mother with her child using the CI system, 2 — monitor with bright picture, 3 — calibrated speaker, 4 — AC40e clinical dual-channel audiometer, 5 — audiologist adjusting the speech processor, 6 — laptop with connected programmer, 7 — connecting cable between the speech processor and the programmer.

ве случаев была умеренной при оценке по шкале Чеддока, коэффициент корреляции составлял от 0,3 до 0,5 на разных электродах.

Данные полученных порогов слуха в свободном звуковом поле на основной рабочей программе прослушивания РП на основных речевых частотах (500 Гц, 1000, 2000, и 4000 Гц) до и после настройки речевого процессора КИ отражены в таблице.

Как следует из табл. 1, настройка РП с использованием субъективных психоакустических тестов — игровой аудиометрии и аудиометрии с визуальным подкреплением достоверно улучшило пороги слуха на основной программе прослушивания РП на основных речевых частотах ( $p < 0,01$ ). Однако процедура настройки РП, основанная на субъективных оценках ребенка, требует наличия у него слухового опыта. У детей без слухового опыта таким способом не удастся получить «обратного ответа» и необходимой информации для настройки РП. Безусловно, в таком случае для настройки РП основными остаются объективные методы [5].

Возможность использовать выработку условно-рефлекторной двигательной реакции со зрительным подкреплением приводит к расширению применения субъективных тестов у детей маленького возраста и у детей, которые отстают в развитии и имеют слабый слуховой опыт. Так, Американская академия аудиологии в клиническом руководстве по КИ 2019 г. рекомендует использовать VRA, условно игровую аудиометрию и традиционные методы аудиометрии у детей, использующих системы КИ [25].

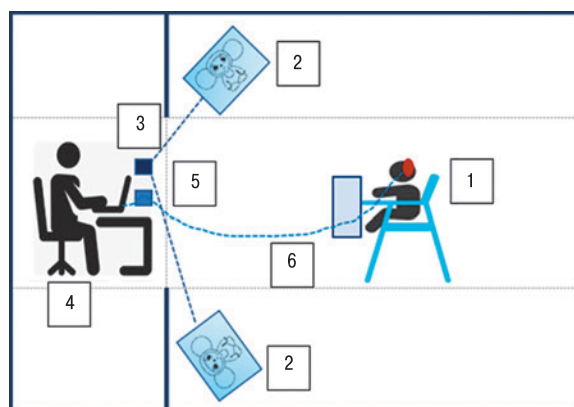


Рис. 2. Схема аудиометрии с визуальным подкреплением во время настройки речевого процессора КИ

1 — ребенок после КИ, 2 — откалиброванный акустический громкоговоритель (колонка), рядом яркая анимированная игрушка или экран, 3 — аудиометр, 4 — специалист, настраивающий РП, 5 — ноутбук с подключенным программатором, 6 — соединяющий кабель между РП и программатором.

Fig. 2. Scheme of audiometry with visual reinforcement during speech processor adjustment

1 — child after speech therapy, 2 — calibrated acoustic loudspeaker (speaker), a bright animated toy or screen next to it, 3 — audiometer, 4 — specialist adjusting the speech processor, 5 — laptop with connected programmer, 6 — connecting cable between the speech processor and the programmer.

Таблица. Пороги слуха в свободном звуковом поле на основной рабочей программе прослушивания РП на основных речевых частотах (500 Гц, 1000, 2000, и 4000 Гц) до и после настройки РП  
 Table. Hearing thresholds in a free sound field on the main SP listening program at the basic speech frequencies (500 Hz, 1000, 2000, and 4000 Hz) before and after SP adjustment

Параметры Parameters	Средние пороги слуха на частоте 500 Гц, дБ Mean hearing thresholds at 500 Hz, dB	Средние пороги слуха на частоте 1000 Гц, дБ Mean hearing thresholds at 1000 Hz, dB	Средние пороги слуха на частоте 2000 Гц, дБ Mean hearing thresholds at 2000 Hz, dB	Средние пороги слуха на частоте 4000 Гц, дБ Mean hearing thresholds at 4000 Hz, dB
До настройки РП Before adjusting the SP	43,91±1,20	43,28±1,14	39,84±1,46	41,25±1,71
После настройки РП After adjusting the SP	36,09±0,92	34,38±0,70	32,19±1,00	31,41±1,19
p	p < 0,01	p < 0,01	p < 0,01	p < 0,01

Аудиометрия с визуальным (зрительным) подкреплением (VRA) – это ключевой поведенческий тест для оценки слуха у детей младшего возраста. Данный тест впервые предложен Liden and Kankkunen в 1969 г., тест является хорошим показателем того, насколько ребенок восприимчив к звукам речи [26]. Метод VRA является предпочтительным поведенческим методом для детей в возрасте от 6 до 24 месяцев. Ребенок обычно сидит на высоком стульчике или на коленях у родителей лицом вперед. Один или два громкоговорителя расположены под углом 45 или 90 градусов к ребенку. Когда появляется слуховой стимул, ребенок естественным образом начинает искать источник звука, поворачивая голову, и вскоре после этого получает подкрепление в виде анимированной игрушки или видео рядом с динамиком, из которого доносится звуковой стимул [27].

Таким образом, VRA подразумевает выработку условно-рефлекторной двигательной реакции в ответ на звуковой стимул, который зрительно подкрепляют подсвеченной игрушкой или анимированным видео [25].

На рис. 3 изображена аудиограмма ребенка с КИ в свободном звуковом поле в РП на основной рабочей программе прослушивания (Р1) на основных 4 речевых частотах до и после настройки процессора КИ.

Как видно из рис. 3, пороги слуха в свободном звуковом поле после настройки процессора КИ с использованием субъ-

ективных психоакустических методов во время настройки (VRA) улучшились.

В нашей группе исследования у большинства детей (n=19) была проведена игровая аудиометрия в свободном поле с целью определения порогов слуха на основной программе РП. У детей, которые не смогли выполнить игровую аудиометрию (n=13), была выполнена VRA, которая помогла получить «ответ» от ребенка и определить пороги слуха на основной рабочей программе прослушивания РП. Таким образом, с помощью VRA-аудиометрии возможно определить пороги слышимости в речевом диапазоне частот с помощью динамиков в свободном поле у детей, использующих КИ.

Данный метод был также применен нами для настройки РП, а у 4 детей данный тест помог определить индивидуальные пороговые значения T-уровня (T-level). На рис. 4 изображена речевая карта РП Med-El после настройки с использованием метода игровой VRA. Настройка уровней MCL и пороги T-level определены с использованием теста VRA.

В результате проведенной коррекции речевой карты данные сурдологического обследования также показали улучшение слуха ребенка и отсутствие дискомфорта: 19 детей нашей группы исследования смогли выполнить речевую аудиометрию. По данным речевой аудиометрии, в свободном звуковом поле в группе 19 детей, которые выполнили речевые тесты, разбор-

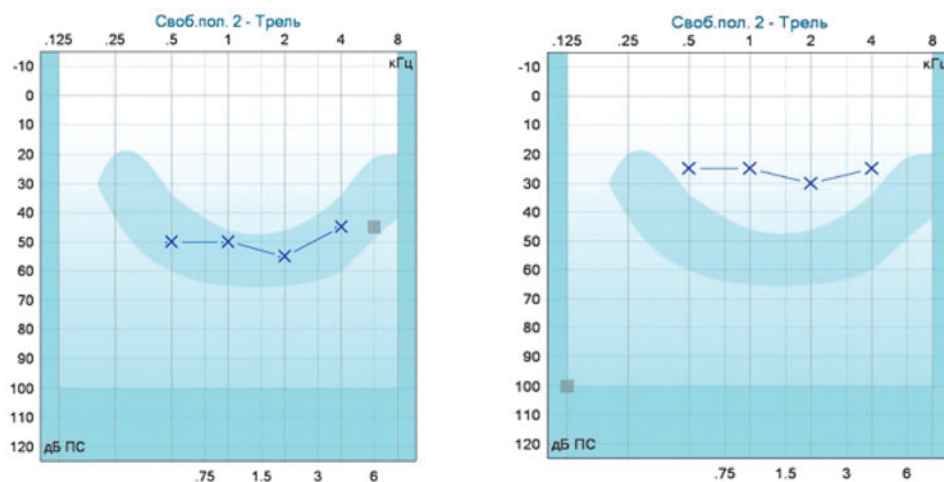


Рис. 3. Аудиограммы ребенка с КИ в свободном звуковом поле

А – до настройки речевой карты процессора КИ, В – после настройки речевой карты процессора КИ.

Fig. 3. Audiograms of a child with CI in a free sound field.

A – before adjusting the speech card of the CI processor, B – after adjusting the speech card of the CI processor.



Рис. 4. Пример карты настройки речевого процессора КИ (речевой процессор Med-El)

Пороговый уровень – ПУ (минимальный/пороговый уровень ощущений – T-level), уровень телеметрии нервного ответа – ТНО (ЕСАР), максимально комфортный уровень – МКУ (MCL).

Fig. 4. Example of a CI speech processor settings card (Med-El speech processor)

Threshold level – TL (minimum/threshold level of sensation – T-level), nerve response telemetry level – NRT (ECAP), maximum comfortable level – MCL.

чивость односложных слов в тишине составила  $73,16 \pm 2,42\%$ , разноточных слов –  $76,32 \pm 2,78\%$ , разборчивость односложных слов в шуме составила  $70,53 \pm 2,47\%$ , разноточных слов в шуме –  $74,74 \pm 2,34\%$ . Результаты разборчивости речи после проведенной настройки процессора КИ достоверно улучшились и составили: односложных слов в тишине –  $80,53 \pm 2,23\%$  ( $p < 0,05$ ), разноточных слов в тишине –  $86,32 \pm 1,91\%$  ( $p < 0,01$ ); односложных слов в шуме –  $76,84 \pm 1,72\%$  ( $p < 0,05$ ), разноточных слов в шуме –  $84,21 \pm 2,46\%$  ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, методы игровой аудиометрии в свободном звуковом поле и VRA позволяют оценить пороги слуха ребенка на основной программе прослушивания РП КИ и дают возможность внести коррекцию в речевую карту с целью улучшения слышимости определенных частот. Выработка условно-двигательной реакции на звук со зрительным подкреплением (VRA-тест) позволяет оценить слух имплантированного ребенка в речевом диапазоне частот и получить «обратную связь» от ребенка. Метод VRA может применяться у маленьких детей до 2–3 лет и у более старших детей, которые отстают от своих сверстников в развитии речи и имеют небольшой слуховой опыт и словарный запас.

## Выводы

Аудиометрия с визуальным подкреплением (VRA) является простым инструментом субъективной оценки порогов слуха в речевом диапазоне частот при использовании РП у детей с различными системами КИ. Метод позволяет определить тональные пороги слуха у детей после КИ в свободном звуковом поле в речевом диапазоне частот в случае, если ребенок не может выполнить игровую аудиометрию.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Deep N.L., Dowling E.M., Jethanamest D., Carlson M.L. Cochlear Implantation: An Overview. *J. Neurol. Surg. B Skull Base*. 2019;80(2):169–77. Doi: 10.1055/s-0038-1669411.
2. Даихес Н.А. и др. Способ настройки параметров речевого процессора системы кохлеарной имплантации. Патент РФ №2325142 от 27.05.08. [Daikhes N.A., et al. Method for setting the parameters of the speech processor of the cochlear implantation system. RF Patent No.2325142 dated 27.05.08 (In Russ.)].
3. Бахшиян В.В. Современные тенденции и перспективы применения метода телеметрии нервного ответа в реабилитации пациентов после кохлеарной имплантации. *Вестник оториноларингологии*. 2014;(2):21–5. [Bakhshinian V.V. The current tendencies and prospects of the neural response telemetry in the rehabilitation of the patients after cochlear implantation. *Russian Bulletin of Otorhinolaryngology*. 2014;(2):21–5 (In Russ.)]. <https://www.mediasphera.ru/issues/vestnik-oto-rinolaringologii/2014/2/030042-4668201425>.
4. Таваркиладзе Г.А. Клиническая аудиология: Национальное руководство: В 3 т. М., 2024. [Tavarkiladze G.A. Clinical audiology: National Guidelines: In 3 volumes. M., 2024 (In Russ.)]. ISBN: 978-5-9704-8252-0.
5. Королева И.В., Пудов В.И., Клячко Д.С. и др. Настройка процессора кохлеарного импланта у особых групп пациентов. Под ред. И.В. Королевой. СПб., 2019. 66 с. [Koroleva I.V., Pudov V.I., Klyachko D.S., et al. Setting up a cochlear implant processor in individual groups of patients. Ed. by I.V. Koroleva. St. Petersburg, 2019. 66 p. (In Russ.)]. ISBN 978-5-905896-18-7.
6. Клячко Д.С., Пашков А.В., Гадалева С.В., Наумова И.В. Электрически вызванный потенциал действия слухового нерва. *Российская оториноларингология*. 2018;4:95. [Klyachko D.S., Pashkov A.V.,



- Gadaleva S.V., Naumova I.V. The electrically evoked compound action potential of the auditory nerve. *Rus. Otorhinolaryngol.* 2018;4:95 (In Russ.)). <https://cyberleninka.ru/article/n/elektricheski-vyzvannyi-potentsial-deystviya-sluhovogo-nerva-obzor-literatury>.
7. Савельев Е.С., Попадюк В.И., Савельева Е.Е. и др. Коклеарная имплантация — эффективный способ реабилитации детей с глубокой степенью потери слуха. *Медицинский совет.* 2025;19(5):60–6. [Savelev E.S., Popadyuk V.I., Saveleva E.E., et al. Cochlear implantation is an effective way to rehabilitate children with severe hearing loss. *Med. Council.* 2025;(5):60–6 (In Russ.)). <https://doi.org/10.21518/ms2025-094>.
  8. Banda González R. I., Castillo Castillo S., Roque Lee G. Parámetros de programación del implante coclear. *Bol. Med. Hosp. Infant. Mex.* 2017;74(1):65–9. Doi:10.1016/j.bmhime.2017.11.016.
  9. Dillier N., Lai W.K., Almqvist B., et al. Measurement of the electrically evoked compound action potential via a neural response telemetry system. *Ann. Otol. Rhinol. Laryng.* 2002;111:407–14. Doi: 10.1177/000348940211100505.
  10. Дайхес Н.А., Мачалов А.С., Балакина А. В. И др. Аудиологические особенности ведения пациентов, перенесших хирургические вмешательства на структурах среднего уха, во время использования системы кохлеарной имплантации. *Российская оториноларингология.* 2022;21(4):103–12. [Daikhes N.A., Machalov A.S., Balakina A.V., et al. Audiological features of the management of patients who underwent surgical interventions on the structures of the middle ear during the use of the cochlear implantation system. *Ros. Otorinolaringol.* 2022;21(4):103–12 (In Russ.)). <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-4-103-112>.
  11. Янов Ю.К., Пудов В.И., Клячко Д.С. Использование интраоперационных стапедальных рефлексов для настройки речевых процессоров. *Российская Оториноларингология.* 2012;5(60):141–4. [Yanov U.K., Pudov V.I., Klyachko D.S. Intraoperative stapodial reflexes usage for speech processors set up. *Ros. Otorinolaringol.* 2012;5(60):141–4 (In Russ.)). <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-intraoperatsionnyh-stapedralnyh-refleksov-dlya-nastroyki-rechevyh-protsessorov>.
  12. Hughes M. Objective measures in cochlear implants. San-Diego, 2013. 164 p.
  13. Brown C.J., Huges M.L., Luk B., et al. The relationship between EAP and EABR thresholds and levels used to program the Nucleus 24 speech processors. *Ear. Hearing.* 2000;21:151–63. Doi: 10.1097/00003446-200004000-00009.
  14. Henkin Y., Kaplan-Neeman R., Muchnik C., et al. Changes over time in electrical stimulation levels and electrode impedance values in children using the Nucleus 24M cochlear implant. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* 2003;67:873–80. Doi: 10.1016/s0165-5876(03)00131-9.
  15. Колоколов О.В., Мачалов А.С., Кузнецов А.О. и др. Изменения данных телеметрии потенциала действия слухового нерва у пациентов после кохлеарной имплантации. *Современные проблемы науки и образования.* 2021;3:174. [Kolokolov O.V., Machalov A.S., Kuznetsov A.O., et al. Evaluation of auditory nerve action potential data telemetry of patients with cochlear system implantation. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2021;3:174 (In Russ.)). <https://doi.org/10.17513/spno.30957>.
  16. Kiss J.G., Tóth F., Nagy A.L., et al. Neural Response Telemetry in Cochlear Implant Users. *Int. Tinnit. J.* 2003;9(1):59–60. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14763333>.
  17. Pradeep V.R. A Comparative Study on the Differences between NRT and Behavioral Mapping in Cochlear Implant – A Single Case Study. *Glob. J. Oto.* 2017;9(4):555768. Doi: 10.19080/GJO.2017.09.555768.
  18. Zarowski A., Molisz A., Cardinael E., et al. Prediction of Behavioral T/C Levels In Cochlear Implant Patients Based Upon Analysis of Electrode Impedances. *J. Am. Acad. Audiol.* 2020;31:674–9. Doi: <https://doi.org/10.1055/s-0040-1718701>. ISSN1050-0545.
  19. Raghunandhan S., et al. A clinical study of electrophysiological correlates of behavioural comfort levels in cochlear implantees. *Cochl. Implant. Int.* 2014;15(3):145–60. Doi: 10.1179/1754762814Y.0000000064.
  20. Туфатулин Г.Ш., Чинг Т., Савельева Е.Е., Савельев Е.С. Русскоязычная версия опросника PEACH (валидация и нормативные данные). *Вестник оториноларингологии.* 2021;86(2):10–5. [Tufatulin G.Sh., Ching T., Saveleva E.E., et al. Russian version of the PEACH scale (validation and normative data). *Russian Bulletin of Otorhinolaryngology.* 2021;86(2):10–5 (In Russ.)). <https://doi.org/10.17116/otorino20218602110>.
  21. Королева И.В., Шапорова А.В., Кузовков В.Е. Разработка критериев и методов оценки эффективности кохлеарной имплантации у детей. *Российская оториноларингология.* 2013;6(67). [Koroleva I.V. Shaporova A.V., Kuzovkov V.E. Development of criteria and methods of assessment of rehabilitation efficacy of deaf children after cochlear implantation. *Ros. Otorinolaringol.* 2013;6(67) (In Russ.)). <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-kriteriev-i-metodov-otsenki-effektivnosti-kohlearnoy-implantatsii-u-detey>.
  22. Королева И.В., Огородникова Е.А., Левин С.В. и др. Использование психоакустических тестов для перцептивной оценки настройки процессора КИ у глухих пациентов. *Вестник оториноларингологии.* 2021;86(1):30–5. [Koroleva I.V., Ogorodnikova E.A., Levin S.V., et al. Psychoacoustic tests for perceptual assessment of processor fitting in patients with cochlear implants. *Russian Bulletin of Otorhinolaryngology.* 2021;86(1):30–5 (In Russ.)). Doi: 10.17116/otorino20218601130.
  23. Бобошко М.Ю., Риехаккайнен Е.И. Речевая аудиометрия в клинической практике. СПб., 2019. 80 с. [Boboshko M.Yu., Riehakainen E.I. Speech audiometry in clinical practice. St. Petersburg, 2019. 80 p. (In Russ.)). ISBN 978-5-8469-0149-0.
  24. Гойхбург М.В., Бахшиян В.В., Жеренкова В.В. и др. Психоакустические и электрофизиологические показатели у пациентов после КИ. Сенсорные системы. 2020;2(34):107–16. [Goikhburg M.V., Bakhshinyan V.V., Zherenkova V.V., et al. Psychoacoustic and electrophysiological parameters in patients after cochlear implantation. *Sensornie Sistemi.* 2020;2(34):107–16. (In Russ.)) Doi: 10.31857/s0235009220020031.
  25. Clinical practice guideline: Cochlear Implants. American Academy of Audiology. 2019. 112 p. <https://www.audiology.org/wp-content/uploads/2021/05/CochlearImplantPracticeGuidelines.pdf>.
  26. Children's Hospital Dartmouth-Hitchcock. Hearing Tests for Children. *Pediatric Audiology.* [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.b4c2b728-68efd9db-dc0a56b0-74722d776562/https/web.archive.org/web/20141129034030/http://www.chadkids.org/audiology/audiology\\_hearing\\_tests.html](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.b4c2b728-68efd9db-dc0a56b0-74722d776562/https/web.archive.org/web/20141129034030/http://www.chadkids.org/audiology/audiology_hearing_tests.html).
  27. Sabo D.L. The audiologic assessment of the young pediatric patient: the clinic. *Trends Amplif.* 1999;4(2):51–60. Doi: 10.1177/108471389900400205.

Поступила 18.09.2025

Получены положительные рецензии 21.10.25

Принята в печать 14.10.25

Received 13.11.2025

Positive reviews received 21.10.25

Accepted 13.11.25

**Вклад авторов.** Е.С. Савельев, Е.Е. Савельева, В.И. Попадюк, А.С. Мачалов — концепция статьи. Е.С. Савельев, Е.Е. Савельева — концепция и дизайн исследования, анализ материала. Е.С. Савельев — написание текста, сбор и обработка материала, обзор литературы, статистическая обработка. Е.Е. Савельева, В.И. Попадюк, А.С. Мачалов — редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.

**Contribution of the authors.** E.S. Savelev, E.E. Saveleva, V.I. Popadyuk, A.S. Machalov — concept of the article. E.S. Savelev, E.E. Saveleva — study concept and design, material analysis. E.S. Savelev — manuscript writing, collection and processing of the material, literature review, statistical processing. E.E. Saveleva, V.I. Popadyuk, A.S. Machalov — editing, approval of the final version of the manuscript.



**Информация об авторах:**

Савельев Евгений Сергеевич — аспирант кафедры оториноларингологии ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы. Адрес: Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, младший научный сотрудник ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии» ФМБА. Адрес: Москва, Волоколамское шоссе, 30 к. 2; e-mail: savelevzheny@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1388-5675>.

Савельева Елена Евгеньевна — д.м.н., доцент, заведующая кафедрой оториноларингологии ФГБОУ ВО Башкирский Государственный медицинский университет Минздрава РФ. Адрес: Уфа, ул. Ленина, д. 3; e-mail: surdolog@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2009-8469>.

Попадюк Валентин Иванович — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой оториноларингологии ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы. Адрес: Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: popadyuk\_vi@pfur.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3309-4683>.

Мачалов Антон Сергеевич — д.м.н., начальник научно-клинического отдела аудиологии, слухопротезирования и слухоречевой реабилитации ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии» ФМБА. Адрес: Москва, Волоколамское шоссе, д. 30 к. 2; e-mail: otolar@fmbamail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5706-7893>.

**Information about the authors:**

Evgenii Sergeevich Savelev — Postgraduate Student of the Department of Otorhinolaryngology at the Peoples' Friendship University of Russia. Address: 6 Miklukho-Maklaya str., Moscow; Junior Researcher at the National Medical Research Center of Otorhinolaryngology of the FMBA of Russia. Address: 30 Volokolamskoe highway, bldg. 2, Moscow; e-mail: savelevzheny@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1388-5675>.

Elena Evgenievna Saveleva — Dr.Med.Sci., Associate Professor, Head of the Department of Otorhinolaryngology, Bashkir State Medical University. Address: 3 Lenina St., Ufa; e-mail: surdolog@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2009-8469>.

Valentin Ivanovich Popadyuk — Dr.Med.Sci., Professor, Head of the Department of Otorhinolaryngology, Peoples' Friendship University of Russia. Address: 6 Miklukho-Maklaya str., Moscow; e-mail: popadyuk\_vi@pfur.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3309-4683>.

Anton Sergeevich Machalov — Dr.Med.Sci., Head of the Scientific and Clinical Department of Audiology, Auditory Prosthetics and Auditory Speech Rehabilitation of the National Medical Research Center of Otorhinolaryngology of the FMBA of Russia. Address: 30 Volokolamskoe highway, bldg. 2, Moscow; e-mail: otolar@fmbamail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5706-7893>.