

Г.Ш. Туфатулин<sup>1, 2, 3</sup>, Ю.К. Янов<sup>3</sup>,  
С.А. Артюшкин<sup>1, 3</sup>, В.В. Дворянчиков<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup> Детский городской сурдологический центр, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>3</sup> Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

# Протокол педиатрического слухопротезирования, основанный на индивидуализации параметров настройки слуховых аппаратов

**Обоснование.** На сегодняшний день в Российской Федерации отсутствует утвержденный клинический протокол педиатрического слухопротезирования. В то же время прогресс технологий современных слуховых аппаратов (СА), появление новых алгоритмов и функций требуют объективных доказательств их безопасности и эффективности для детей с нарушениями слуха. Для решения этих задач авторами разработан алгоритм педиатрического слухопротезирования, предполагающий, помимо стандартных процедур, объективную электроакустическую верификацию выходных параметров и отдельных функций СА. Исследование посвящено изучению преимуществ предлагаемого протокола. **Цель исследования** — разработка и оценка эффективности протокола настройки СА, основанного на объективной электроакустической верификации выходных параметров и функций. **Методы.** Проведено проспективное рандомизированное контролируемое клиническое исследование. Сравнивались эффективность двух протоколов настройки СА: стандартного, основанного на оценке адекватности субъективными методами (контрольная группа), и экспериментального, основанного на объективной электроакустической верификации выходных параметров и отдельных функций СА — подавления обратной связи, амплитудной и частотной компрессии, направленности микрофона, цифрового шумоподавления (экспериментальная группа). В каждую группу включены по 56 детей 3–17 лет с тугоухостью II–III степени, которым проводилось первичное слухопротезирование. Результаты оценивались через 1, 3 и 6 мес с использованием опросников PEACH и LIFE, речевой аудиометрии, фонемного теста. Регистрировалось среднесуточное время использования СА и время, затрачиваемое на настройку. **Результаты.** У дошкольников в экспериментальной группе результаты опросника PEACH после использования экспериментального протокола оказались на 6% лучше, чем в контрольной группе, а у школьников (опросник LIFE) — на 11%. Разборчивость речи в тишине в экспериментальной группе у детей дошкольного возраста оказалась выше на 3,1% ( $p > 0,05$ ), а у детей школьного возраста — на 9,3% ( $p < 0,01$ ) по сравнению с детьми контрольной группы. Разборчивость речи в шуме у дошкольников выше на 7,8% ( $p < 0,05$ ), а у школьников — на 13% ( $p < 0,01$ ). Фонематическое распознавание у дошкольников экспериментальной группы оказалось выше на 4,5% ( $p < 0,05$ ), у школьников — на 9,8% ( $p < 0,01$ ) по сравнению с детьми контрольной группы. У детей, настройка которым проводилась с применением верификации, среднесуточное время использования СА было выше на 11–12% в зависимости от срока наблюдения. Настройка по экспериментальному протоколу занимала в среднем 1,5 ч, а по стандартному протоколу — 53 мин. **Заключение.** Применение протокола педиатрического слухопротезирования, основанного на объективной электроакустической верификации выходных параметров и функций СА, позволяет достоверно повысить эффективность коррекции слуха у детей.

**Ключевые слова:** слухопротезирование детей, верификация слуховых аппаратов, измерения в реальном ухе

**Для цитирования:** Туфатулин Г.Ш., Янов Ю.К., Артюшкин С.А., Дворянчиков В.В. Протокол педиатрического слухопротезирования, основанный на индивидуализации параметров настройки слуховых аппаратов. Вестник РАМН. 2023;78(4):314–328. doi: <https://doi.org/10.15690/vramn14859>

## Обоснование

Цель слухопротезирования ребенка — минимизация отрицательного влияния тугоухости на развитие и академическую успеваемость, а также обеспечение доступа ребенка к звукам настолько, насколько это возможно в конкретном случае [1]. Важность раннего слухопротезирования на сегодняшний день неоспорима [2, 3]. Исследования свидетельствуют о том, что ранняя коррекция слуха может способствовать развитию сенсорных и когнитивных навыков, импрессивного и экспрессивного словаря, речи и грамотности, академической успеваемости, социального и эмоционального статуса [4, 5].

Современный «золотой стандарт» помощи детям с врожденной тугоухостью определяет оптимальный возраст первичного слухопротезирования до 6 мес [6–8].

T.Y. Ching и соавт. в масштабном популяционном исследовании LOCHN изучили пятилетние результаты слухопротезирования австралийских детей. Было показано, что слухопротезирование в 3 мес приводит к улучшению речевого развития, в особенности при тяжелом и глубоком нарушении слуха [9]. Своевременное слухопротезирование увеличивает общий объем звукового входа (объем речевой и неречевой информации, воспринимаемой исключительно с опорой на слух), сокращает время, в течение которого стойкое нарушение слуха остается некомпенсированным, обеспечивая использование критического сенситивного периода созревания мозга [10].

Экономическая эффективность коррекции слуха в раннем детстве обусловлена значительным сокращением расходов государства на содержание инвалида по слуху. По данным ВОЗ, 1 доллар, инвестированный

в оказание помощи при нарушениях слуха, впоследствии гарантирует возврат 16 долларов [11].

Процесс подбора и настройки слуховых аппаратов (СА) детям в Российской Федерации определяется клиническими рекомендациями «Сенсоневральная тугоухость у детей» (2021), в соответствии с которыми слухопротезирование должно сопровождаться в том числе оценкой адекватности настройки (соответствия усиления целевым значениям). Оценка адекватности настройки может проводиться как субъективными, так и объективными методами.

Субъективная верификация предполагает определение поведенческих порогов слышимости в СА и имеет множество ограничений (на результат влияют возраст и уровень развития ребенка, акустические параметры помещения, характеристики стимула и др.).

Объективная верификация проводится путем измерений выходного уровня звукового давления СА у барабанной перепонки (*in situ*) или в куплере (камера объемом 2 см<sup>3</sup>, предназначенная для измерения выходных характеристик СА) с применением системы измерений в реальном ухе. Объективная верификация позволяет оценить адекватность слухопротезирования у детей любого возраста: СА выбран и настроен в соответствии с аудиограммой ребенка, обеспечивает слышимость речевых звуков на разных уровнях в соответствии с целевыми значениями, а также исключает появление дискомфортных ощущений [3]. Таким образом, точная настройка СА должна проводиться не только на основании данных субъективных методов, что в ряде случаев (дети до 6 лет

либо дети с тяжелыми множественными нарушениями) можно считать настройкой «вслепую», но и с объективным подтверждением ее адекватности. К сожалению, объективная электроакустическая верификация в отечественной практике применяется редко.

В то же время, помимо звукоусиления, современные технологии коррекции слуха включают различные дополнительные стратегии обработки сигнала и функции СА, например амплитудную компрессию, направленность микрофона, цифровое шумоподавление, подавление обратной связи, частотное понижение и др. Все эти функции и алгоритмы также нуждаются в верификации. Исследования последних десятилетий сфокусированы на оценке их эффективности для детей разного возраста и степени тугоухости [12–14]. При этом в доступной литературе отсутствуют опубликованные исследования, доказывающие достоверные различия в исходах коррекции слуха у детей с применением СА различных технологических уровней. Часто единственным значимым различием между СА разных уровней является только стоимость. Слышимость речевых и неречевых звуков, как правило, может быть обеспечена СА даже базового уровня, соответствующим требованиям детского слухопротезирования. Доказательства преимуществ высокотехнологичных алгоритмов в современных СА очень ограничены и не позволяют сделать однозначный вывод о том, что самый дорогой СА приведет к самому высокому результату [15]. Кроме того, слуховые потребности детей и взрослых значительно различаются, поэтому любая новая технология СА перед ее применением в педиатри-

G.Sh. Tufatulin<sup>1,2,3</sup>, Yu.K. Yanov<sup>3</sup>, S.A. Artyushkin<sup>1,3</sup>, V.V. Dvoryanchikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg Scientific Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Center of Paediatric Audiology, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>3</sup> North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russian Federation

## Paediatric amplification protocol, based on individualization of the hearing aids' fitting parameters

**Background.** There are no paediatric amplification clinical practice guidelines in Russia at the moment. At the same time the technological progress of hearing aids' (HA), new algorithms and functions requires the objective evidence of safety and effectiveness for the hearing impaired children. For these reasons paediatric amplification algorithm was developed by the authors. Besides the standard procedures the algorithm includes an objective electroacoustic verification of the output parameters and separate HA functions. The research is devoted to the investigation of the protocol's advantages. **Aim** — development and evaluation the paediatric amplification protocol, based on objective electroacoustic verification of the output and functions of hearing aid. **Materials and methods.** Prospective, randomized, controlled clinical trial was performed. Two protocols' effectiveness were compared. Standard protocol (control group) is based on the subjective verification. Experimental protocol suggests an electroacoustic verification of the output and different HA functions: feedback cancellation, amplitude and frequency compression, microphone directionality, digital noise reduction (experimental group). Each group included 56 children (3–17 years old) with permanent hearing loss from moderate to moderately-severe degree. Initial amplification was performed for each child; the results were estimated in 1, 3 and 6 months using PEACH and LIFE questionnaires, speech audiometry and phoneme testing. DataLogging and first fitting appointment time were also estimated. **Results.** In preschool-age children of the experimental group post-amplification PEACH results were 6% better than in controls. In school-age children (LIFE questionnaire) results were 11% better comparing with control group. Speech intelligibility in quiet was 3.1% ( $p > 0.05$ ) higher for pre-schoolers in the experimental group and 9.3% ( $p < 0.01$ ) higher for school-age children comparing with control group. Speech intelligibility in noise was higher in experimental group than in control: 7.8% ( $p < 0.05$ ) in pre-schoolers and 13% ( $p < 0.01$ ) for school-age children. Phoneme recognition was better in experimental group as well: 4.5% ( $p < 0.05$ ) in pre-schoolers and 9.8% ( $p < 0.01$ ) in school-agers than in control group. After HA fitting following an experimental protocol DataLogging time was 11–12% longer in comparison with standard procedure. On the other hand, experimental protocol took in average 1.5 hours for the first fitting and standard protocol — 53 minutes. **Conclusions.** Protocol of paediatric amplification based on objective electroacoustic verification of HA output and functions allows to significantly increase the effectiveness of hearing rehabilitation in children.

**Keywords:** paediatric amplification, hearing aids, verification, real ear measurements

**For citation:** Tufatulin G.Sh., Yanov Yu.K., Artyushkin S.A., Dvoryanchikov V.V. Paediatric amplification protocol, based on individualization of the hearing aids' fitting parameters. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences.* 2023;78(4):314–328. doi: <https://doi.org/10.15690/vramn14859>

ческом слухопротезировании должна быть подвергнута тщательному исследованию в соответствии с принципами доказательной медицины [16].

В литературе приводятся отдельные процедуры объективной электроакустической верификации выше-названных функций с целью определения показаний для их активации, оценки корректности их работы, а также индивидуализации настроек у каждого конкретного пациента [7, 15]. R.W. McCreery и E.A. Walker утверждают, что электроакустическая верификация функций СА является обязательным этапом педиатрического слухопротезирования [15]. К сожалению, объективная верификация отдельных функций СА до сих пор не применяется в рутинной клинической практике [17]. Кроме того, отсутствие единого протокола педиатрического слухопротезирования в Российской Федерации зачастую приводит к различным взглядам специалистов на «правильность» выбора и настройки СА детям.

**Цель исследования** — разработка и оценка эффективности протокола настройки СА, основанного на объективной электроакустической верификации выходных параметров и функций.

## Методы

### Дизайн исследования

Проведено проспективное рандомизированное контролируемое клиническое исследование. Сравнивалась эффективность двух различных протоколов настройки СА: стандартного (согласно клиническим рекомендациям «Сенсоневральная тугоухость у детей», контрольная группа) и экспериментального, основанного на совокупности процедур по электроакустической верификации выходных параметров и отдельных функций СА. Рандомизация проводилась с учетом сокрытия распределения отдельно в каждой возрастной группе. Использовались непрозрачные запечатанные и последовательно пронумерованные конверты, в которые вкладывалось указание об отнесении пациента к одной из двух групп. Вскрытие конверта производилось только после оценки критериев соответствия.

### Критерии соответствия

- Впервые определенные показания к коррекции слуха СА воздушной проводимости: двусторонняя тугоухость II–III степени (сенсоневральная тугоухость, заболевания спектра аудиторных нейропатий, кондуктивная/смешанная тугоухость, связанная с аномалиями развития наружного, среднего или внутреннего уха).
- Отсутствие предшествующего опыта использования СА.
- Уровень когнитивного и речевого развития, достаточный для проведения речевой аудиометрии в условиях открытого выбора (пациент повторяет услышанное слово).
- Отсутствие выраженной сопутствующей патологии, способной потенциально повлиять на результат слухопротезирования (например, тяжелая степень умственной отсталости, детский церебральный паралич, тяжелые множественные нарушения развития).
- Мотивация ребенка и родителей к постоянному использованию СА и необходимой реабилитации.

### Условия проведения

Исследование проводилось на базе СПб ГКУЗ «Детский городской сурдологический центр».

### Продолжительность исследования

Исследование проводилось с января 2021 по сентябрь 2022 г.

### Описание медицинского вмешательства

В исследовании участвовали 112 детей в возрасте от 3 до 17 лет, которым проводилось первичное бинауральное слухопротезирование с последующим динамическим наблюдением. Первичная настройка основывалась на данных тональной пороговой или игровой аудиометрии, проводимой на аудиометрах AC40 (Interacoustics, Дания), GSI-61 (Grason-Stadler, США) или MA53 (Maico, Германия).

По слепкам наружного уха каждому ребенку изготавливались индивидуальные ушные вкладыши, материал и форма которых выбирались исходя из возраста и аудиограммы.

Для оценки слухоречевого развития ребенка до и после слухопротезирования применялись русскоязычные версии опросников PEACH и LIFE. Родителям детей дошкольного возраста предлагалось заполнить опросник PEACH (в форме шкалы). Опросник PEACH предназначен для оценки уровня сформированности слухового восприятия у детей 2–7 лет, содержит 12 вопросов, имеются возрастные нормы. Максимальное количество баллов в опроснике PEACH (100) означает наилучший результат, минимальное (0) — худший результат. Дети школьного возраста самостоятельно или совместно с родителями заполняли анкету LIFE на основании собственных слуховых ощущений. Анкета LIFE предназначена для самооценки учеником степени слуховых затруднений в различных акустических условиях в школе. Минимальное количество баллов (18) обозначает наилучший результат, максимальное (90) — худший результат [18, 19].

Слухопротезирование детей экспериментальной группы проводилось согласно протоколу, включающему, помимо субъективной, электроакустическую верификацию выходных параметров и отдельных функций СА. Слухопротезирование детей контрольной группы проводилось по стандартному протоколу (верификация настройки только по субъективным данным — тональная аудиометрия в свободном звуковом поле в СА, оценка дискромфорта). До настройки у детей обеих групп измеряли разницу в звуковом давлении между реальным ухом и куплером (RECD) по стандартной методике. Полученное значение использовалось для настройки. Во всех случаях применялось бинауральное слухопротезирование цифровыми заушными СА, имеющими компрессию в широком динамическом диапазоне (WDRC), от 8 до 12 каналов компрессии, цифровое шумоподавление, функцию подавления обратной связи, адаптивный режим направленности микрофонной системы, функцию частотного понижения. Расчет целевого усиления осуществлялся согласно методу DSL v.5 [20].

Остановимся на детальном описании применяемых протоколов настройки.

### Экспериментальный протокол настройки

1. Первичная настройка СА согласно формуле DSL v.5 с учетом порогов слуха, измеренной RECD, акустической конфигурации СА.

2. Верификация общего усиления СА в реальном ухе. В наружный слуховой проход вводили зонд-микрофон, затем индивидуальный вкладыш с включенным и настроенным СА, подключенным с помощью кабеля к про-

грамматору. Ребенок располагался лицом к динамике на расстоянии 1 м (рис. 1А). Применялся международный речевой тестовый сигнал (ISTS). При этом зонд-микрофон фиксировал выход СА в реальном ухе, что позволяет оценить соответствие выходных характеристик СА целевым значениям и возможность СА обеспечить слышимость речи (рис. 1Б). Измерение проводили отдельно для правого и левого уха на четырех уровнях интенсивности стимула: 55, 65, 75 и 90 дБ уровня звукового давления (УЗД). При несоответствии измеренного уровня целевому производили корректировку параметров усиления и повторяли измерение. За допустимый уровень расхождения между целевыми и измеренными значениями принимали  $\pm 5$  дБ на частотах 250 Гц; 500 Гц; 1000 Гц; 2000 Гц и  $\pm 8$  дБ на частотах 3000 и 4000 Гц в соответствии с рекомендациями Британского общества аудиологов [21].

3. Верификация функции амплитудной компрессии. Для этого сравнивали соотношение между целевыми кривыми выхода для тихой, нормальной и громкой речи и соотношения между измеренными кривыми на этих же уровнях. Добивались, чтобы реальное соотношение соответствовало целевому.

4. Верификация функции подавления обратной связи. Оценивалось наличие ограничения усиления в отдельных частотных областях. В этих случаях определяли причину акустической обратной связи и устраняли ее (выбирали меньший диаметр вента или отказывались от него, изготавливали более герметичный вкладыш) либо уменьшали выраженность подавления обратной связи.

5. Верификация цифрового шумоподавления. Применяли алгоритм, предложенный S. Scollie и соавт. (2016) (рис. 2) [22].

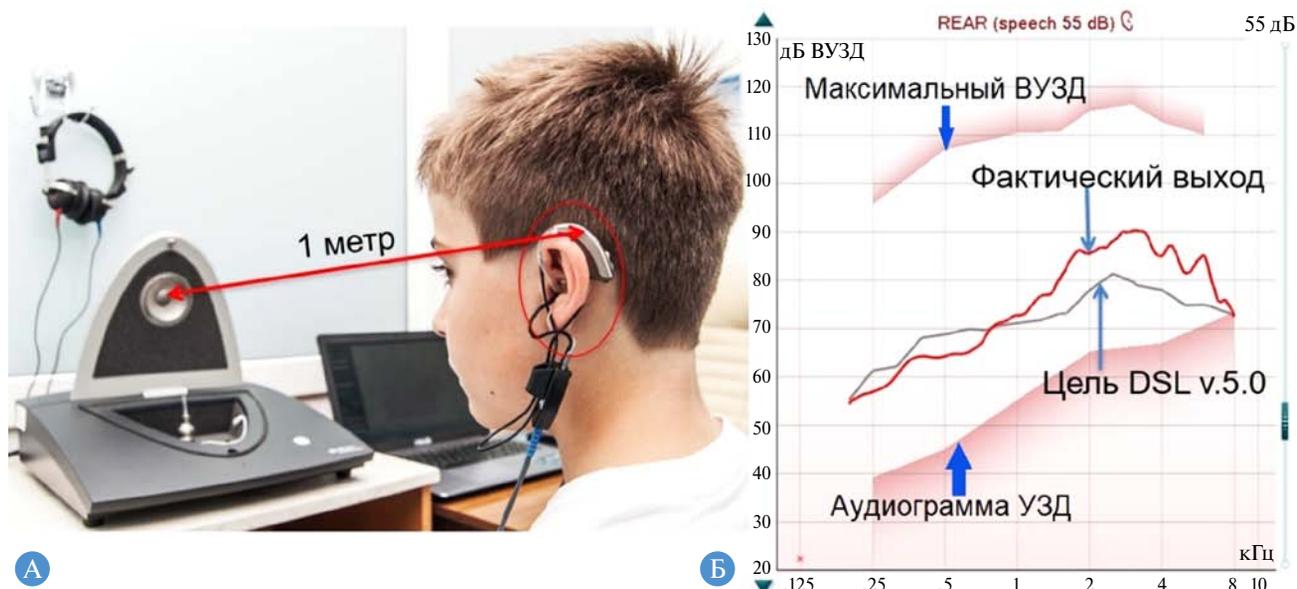


Рис. 1. Верификация СА в реальном ухе: А — расположение пациента перед динамиком (в ухе — зонд-микрофон и СА); Б — результат измерения (объяснение в тексте)



Рис. 2. Алгоритм верификации функции цифрового шумоподавления (Scollie S. и соавт., 2016)



**Рис. 3.** Верификация функции цифрового шумоподавления: А — активация функции в ответ на громкий речевой стимул (неадекватное функционирование); Б — после коррекции настройки шумоподавление не включается в ответ на громкий речевой стимул; В — шумоподавление активируется в ответ на шумовой сигнал, ограничение усиления происходит преимущественно в низкочастотном диапазоне

Верификации подлежали следующие параметры:

- выраженность шумоподавления;
- частотный диапазон, в котором снижается уровень звукового давления;
- активируется ли функция только в ответ на шум или при предъявлении речи в шуме / громкой речи;
- время, необходимое для срабатывания шумоподавления.

Целью верификации было убедиться, что цифровое шумоподавление активируется только в ответ на громкий шум (75 дБ) и не включается в ответ на громкий речевой стимул 75 дБ (не приводит к ухудшению слышимости громкой речи). На рис. 3 приведен пример верификации шумоподавления у ребенка 13 лет с двусторонней тугоухостью III степени.

При аттенуации шума с включенным шумоподавлением менее чем на 3 дБ интенсивность функции увеличивали.

6. Верификация направленности микрофона. Исследование проводили раздельно в двух режимах: фиксированной направленности и всенаправленности. Тестовый сигнал — ISTS интенсивностью 65 дБ УЗД. На время верификации СА переводился в линейный режим, цифровое шумоподавление отключали. Сравнивали ответ СА, полученный при передней позиции пациента по отноше-

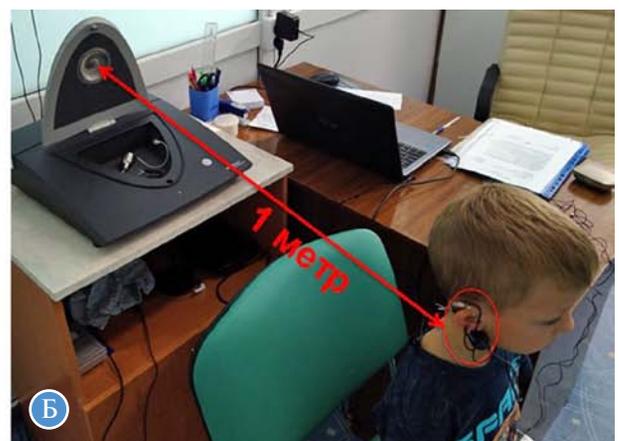
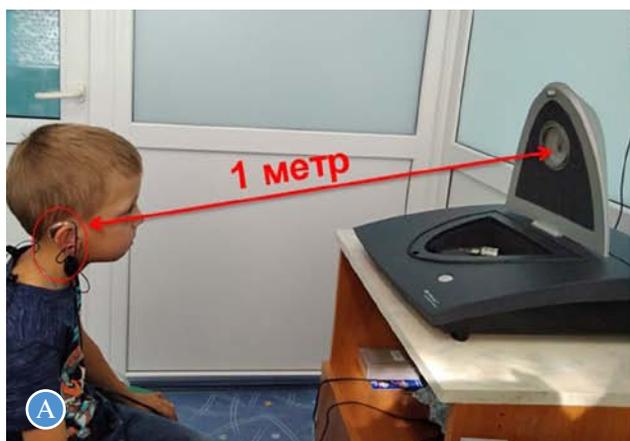
нию к динамике, с ответом, полученным при положении пациента спиной к динамике (рис. 4).

При адекватном функционировании системы направленности сигнал, записанный в передней позиции, должен превышать сигнал, записанный в задней позиции (индекс направленности), на 3–6 дБ (рис. 5). В режиме всенаправленного микрофона зарегистрированные значения звукового давления в передней и задней позиции не имеют значимой разницы [23].

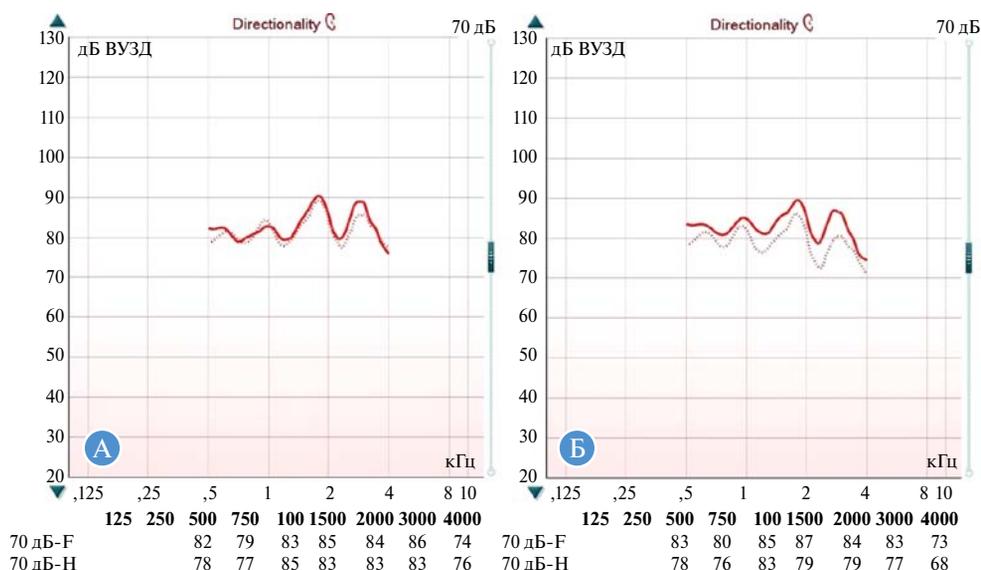
7. Выбор показаний и верификация функции частотного понижения осуществлялись согласно протоколу, предложенному R.W. McCreery и соавт. (2014) и Ontario Infant Hearing Program (2019) [7, 24]. На первом этапе проводилась верификация выхода СА на уровне 65 дБ УЗД с отключенной функцией частотного понижения. Если высокочастотный ответ СА находился под порогом слуха, то в этом случае определялась максимальная слышимая частота выходного сигнала (maximum audible output frequency; MAOF) — диапазон между точкой пересечения измеренного выхода для 65 дБ УЗД с УЗД-аудиограммой и точкой пересечения измеренной кривой для 75 дБ УЗД с УЗД-аудиограммой (рис. 6) [25].

Далее с выключенной функцией частотного понижения измерялся ответ аппарата на стимул «С» интенсивностью 65 дБ УЗД. При этом оценивалось расположение

318



**Рис. 4.** Положение пациента при верификации направленности микрофона: А — передняя позиция по отношению к динамике; Б — задняя позиция



**Рис. 5.** Верификация направленности микрофона: А — режим всенаправленного микрофона; Б — режим фиксированной направленности. Сплошная линия — передняя позиция пациента, пунктирная линия — задняя позиция пациента. Таблица в нижней части отражает цифровые значения звукового давления (дБ УЗД)

пика по отношению к УЗД-аудиограмме. В случае если пик стимула «С» находился над порогом УЗД-аудиограммы, частотное понижение не требовалось (слышимость высокочастотных фонем может быть достигнута классическим усилением). В случае если пик стимула «С» на уровне 65 дБ УЗД находился под порогом УЗД-аудиограммы, это расценивалось как показание к активации частотного понижения (рис. 7).

При необходимости активации функции настраивались ее параметры и вновь измерялся выход СА на стимул «С» уже с включенной функцией. Определялось, превышает ли пик ответа порог слуха (рис. 8). Оптимальной считалась самая слабая выраженность частотного понижения, обеспечивающая слышимость звука «С».

В процессе верификации частотного понижения оценивались также спектральные различия между кривы-

ми, полученными в ответ на предъявление стимулов «С» и «Ш», добивались, чтобы пики были разнесены по частотам как минимум на 1/3 октавы, что, по данным P.G. Stelmachowicz и соавт. (1993), улучшает различение фонем [26].

8. Тональная пороговая аудиометрия в свободном звуковом поле в СА проводилась в звукозаглушенной камере. Для определения поведенческих порогов в качестве стимулятора использовались клинический аудиометр GSI-61 (Grason-Stadler, США) и громкоговоритель. Стимулами служили частотно-модулированные тоны 500, 1000, 2000, 4000 Гц. Шаг интенсивности — 10 дБ. Пациент располагался на расстоянии 1 м от громкоговорителя таким образом, чтобы угол падения звуковой волны составлял 0°. Определялся порог слышимости в СА на каждой из частот отдельно для правого и левого уха. Целевым значением выбиралась интенсивность 30 дБ нПС.

9. Оценка слухового дискомфорта проводилась путем подачи в свободном звуковом поле модулированных тонов и белого шума интенсивностью 80–90 дБ нПС, а также с использованием громко звучащих игрушек.

10. Внесение соответствующих корректировок в параметры настройки по результатам вышеописанных тестов.

**Стандартный протокол настройки**

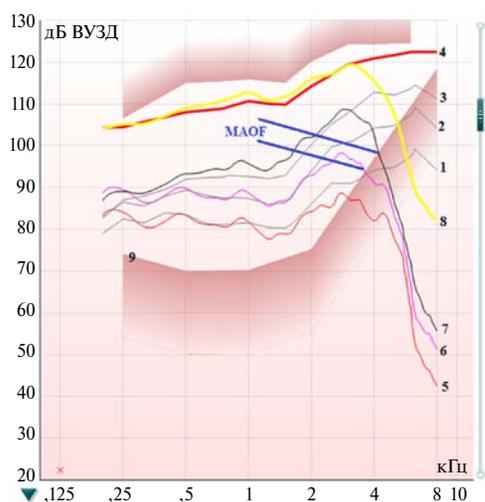
1. Первичная настройка СА согласно формуле DSL v.5 с учетом аудиограммы, измеренной RECD, акустической конфигурации СА.

2. Тональная аудиометрия в свободном звуковом поле в СА по описанной выше методике.

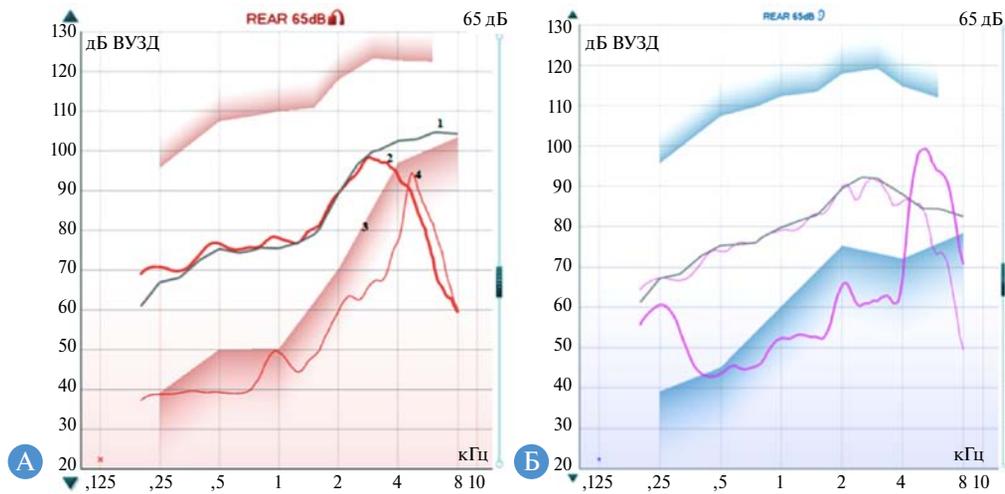
3. Оценка слухового дискомфорта.

4. Внесение соответствующих корректировок в параметры настройки по результатам аудиометрии и оценки дискомфорта в СА.

После слухопротезирования все дети получали психолого-педагогическую реабилитацию, включавшую занятия с сурдопедагогом, логопедом, консультации медицинского психолога. Продолжительность и содержание реабилитации выбирались исходя из возраста и уровня слухоречевого развития.



**Рис. 6.** Определение максимальной слышимой частоты выходного сигнала (MAOF): 1 — целевое значение (DSL v.5) для уровня входного сигнала ISTS 55 дБ УЗД; 2 — для уровня 65 дБ УЗД; 3 — для уровня 75 дБ УЗД; 4 — целевой уровень насыщения (ВУЗД90); 5–8 — фактический выход СА в реальном ухе при входных уровнях сигнала 55, 65, 75 и 90 дБ УЗД соответственно; 9 — УЗД-аудиограмма



**Рис. 7.** Электроакустическая оценка показаний к частотному понижению: А — частотное понижение показано; Б — частотное понижение не показано. 1 — целевой выход СА (DSL v.5); 2 — ответ СА на стимул ISTS, 65 дБ УЗД; 3 — УЗД-аудиограмма; 4 — выход СА в ответ на стимул «С». Частотное понижение отключено

**Исходы исследования**

**Основной исход исследования:** эффективность слухопротезирования в экспериментальной и контрольной группах. Оценка эффективности производилась через 1, 3 и 6 мес после подбора СА и предполагала повторное заполнение анкет REACH (для дошкольников, заполнялась родителями) или LIFE (для детей школьного возраста, заполнялась ребенком совместно с родителем), речевую аудиометрию в СА в тишине и шуме, оценку фонематического различения, а также регистрацию среднесуточного времени эксплуатации СА.

**Дополнительные исходы исследования:** проводили хронометраж времени приема ребенка врачом сурдологом-протезистом для настройки СА.

**Методы регистрации исходов**

Для речевой аудиометрии у детей дошкольного возраста применялись тестовые таблицы разносложных слов для тестирования детей 3–7 лет (Ошерович А.М., 1965, в редакции Риехакайнен Е.И., 2019), одновременно предъявлялись две таблицы из 6 слов. У детей школьного возраста использовали тестовые таблицы двусложных слов для тестирования детей 7–14 лет (Ошерович А.М., 1965, в редакции Риехакайнен Е.И., 2019), одновременно

предъявлялись две таблицы из 10 слов [27]. Исследование проводилось в свободном звуковом поле, в ситуации открытого выбора, в тишине, а также в шуме при отношении сигнал/шум +6 дБ. Рассчитывался процент правильных ответов. Речевая аудиометрия проводилась в звукозаглушенной камере с помощью клинического аудиометра GSI-61 (Grason-Stadler, США) и громкоговорителя. Испытуемый располагался на расстоянии 1 м от громкоговорителя таким образом, чтобы угол падения звуковой волны составлял 0°. Уровень речевого сигнала при выполнении речевой аудиометрии в свободном звуковом поле составлял 65 дБ УЗД.

Оценка распознавания фонем проводилась по методике, предложенной И.В Королёвой [4]. Для оценки распознавания гласных предъявлялись слоги с согласным [п] (всего 10 слогов). Для оценки распознавания согласных предъявлялись слоги с гласным [а] (всего 20 слогов). Материал предъявлялся в случайном порядке живой речью разговорной громкости на расстоянии 1 м, ребенок должен был повторить предъявленный слог. Оценивался процент правильных ответов.

**Этическая экспертиза**

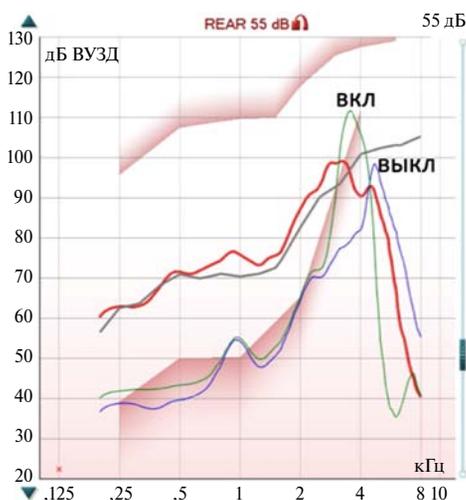
Исследование одобрено Локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, протокол № 6 от 02.09.2020.

**Статистический анализ**

**Принципы расчета размера выборки:** размер выборки предварительно не рассчитывался.

**Методы статистического анализа данных**

Статистическая обработка данных производилась в программе Statistica 10 на персональном компьютере с операционной системой Windows 7 (Professional edition). Результаты исследования заносились в общую матрицу с применением программы Microsoft Office Excel 2016. Для обработки результатов использовались статистические методы: среднее арифметическое, медиана, стандартное отклонение. Для проверки нормальности исходных данных применялся критерий Шапиро – Уилка. Определено ненормальное распределение, в связи с чем использовались непараметрические методы. Для сравнения несвязанных совокупностей применялся U-критерий



**Рис. 8.** Верификация функции частотного понижения

Манна – Уитни. В отношении номинальных переменных для сравнительного анализа был использован критерий хи-квадрат. За уровень достоверности был принят  $p < 0,05$ .

### Результаты

#### Объекты (участники) исследования

Дети были разделены на две равные группы по 56 человек.

##### 1. Экспериментальная группа:

- 22 ребенка дошкольного возраста (3–7 лет, средний возраст  $5,5 \pm 1,3$  года);
- 34 ребенка школьного возраста (8–17 лет, средний возраст  $12,6 \pm 3$  года).

У 32 детей экспериментальной группы определялась двусторонняя тугоухость II степени, у 12 — сочетание II и III степени, у 12 — III степень. У 50 детей диагностирована хроническая сенсоневральная тугоухость, у 2 — слуховая нейропатия, у 4 — кондуктивная/смешанная тугоухость. У 28 детей тугоухость была прелингвальной (у 8 детей — стойкой, у 20 — прогрессирующей), у 17 — перилингвальной, у 11 — постлингвальной.

##### 2. Контрольная группа:

- 21 ребенок дошкольного возраста (3–7 лет, средний возраст  $5,7 \pm 1,2$  года);

- 35 детей школьного возраста (8–17 лет, средний возраст  $12,4 \pm 3$  года).

У 27 детей контрольной группы определялась двусторонняя тугоухость II степени, у 18 — сочетание II и III степени, у 11 — III степень. У 53 детей имелась хроническая сенсоневральная тугоухость, у 1 — слуховая нейропатия, у 2 — кондуктивная/смешанная тугоухость. У 24 детей тугоухость была прелингвальной (у 13 детей — стойкой, у 11 — прогрессирующей), у 19 — перилингвальной, у 13 — постлингвальной.

Достоверных межгрупповых различий по возрасту ( $p > 0,05$ ;  $U = 1537$ ), полу ( $p > 0,05$ ;  $\chi^2 = 2,286$ ), распределению типов и степеней тугоухости ( $p > 0,05$ ;  $\chi^2 = 1,667$ ), сроку наступления тугоухости ( $p > 0,05$ ;  $\chi^2 = 0,585$ ) определено не было.

Схема проведения исследования представлена на рис. 9.

#### Основные результаты исследования

##### Верификация настройки

Процесс настройки СА в экспериментальной группе имел следующие особенности:

- «ручная» коррекция параметров усиления и амплитудной компрессии по итогам объективной верификации потребовалась в 31 случае (55%);
- верификация подавления обратной связи выявила чрезмерное подавление усиления у 8 детей (14%),

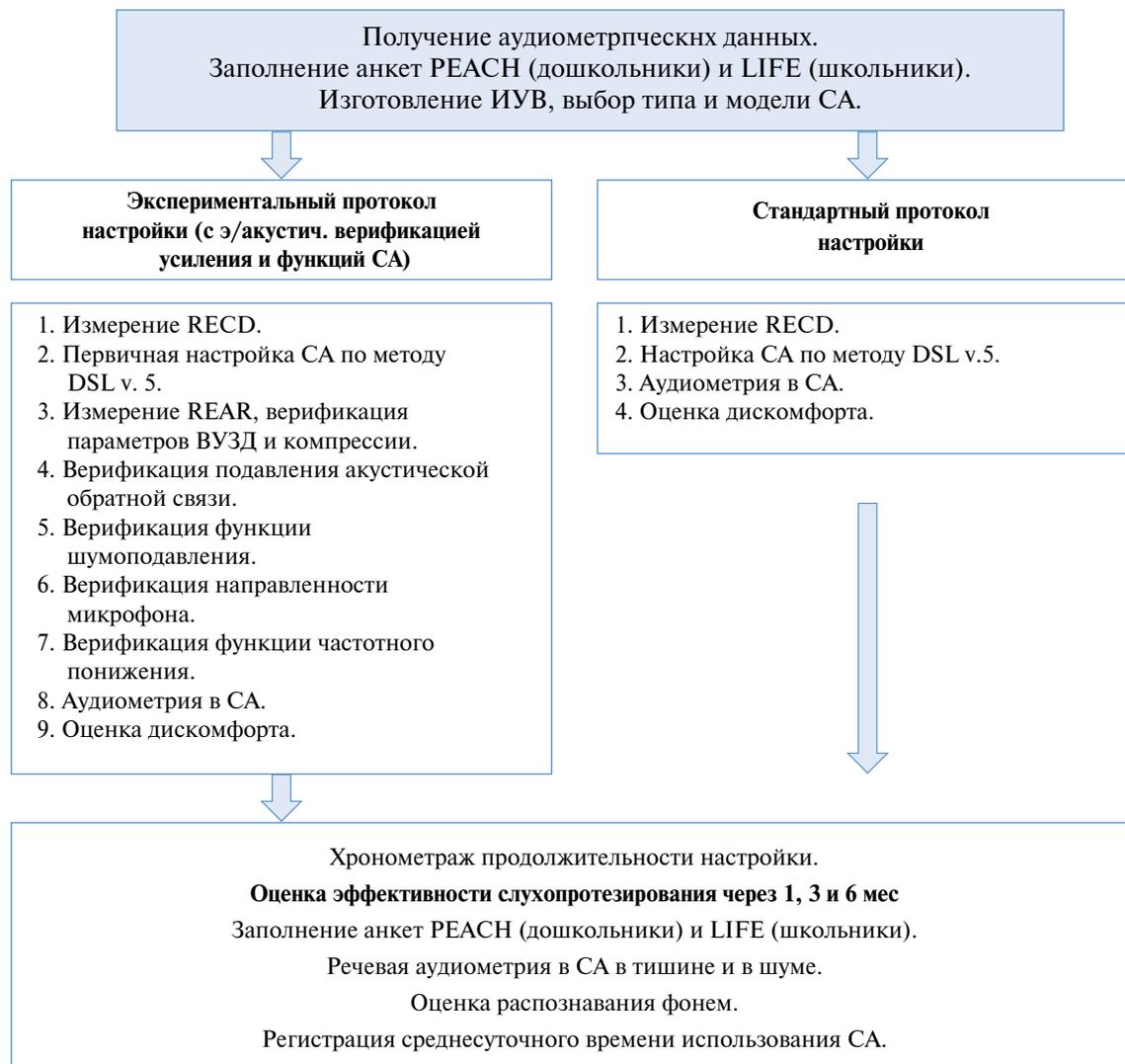


Рис. 9. Схема проведения исследования

**Результаты электроакустической верификации функций слуховых аппаратов у детей группы ба (n = 56): частота нуждаемости в коррекции настроек, количество случаев**



**Рис. 10.** Частота необходимости коррекции настроек функций СА, установленных по умолчанию у детей экспериментальной группы. Значения — количество случаев.

322

что было откорректировано заменой вкладыша или изменениями настройки;

- неадекватная работа цифрового шумоподавления выявлена у 11 детей (20%), из них у 8 шумоподавление срабатывало в ответ на громкую речь, у 3 — не активировалось в ответ на громкий шум;
- у 7 детей (12,5%) по итогам верификации направленности микрофона было выявлено, что ослабления сигнала, поступающего сзади, не происходит;
- показания к частотному понижению были определены у 20 детей (36%), из них у 14 (70%) настройки параметров функции по итогам электроакустической верификации отличались от предписанных программой.

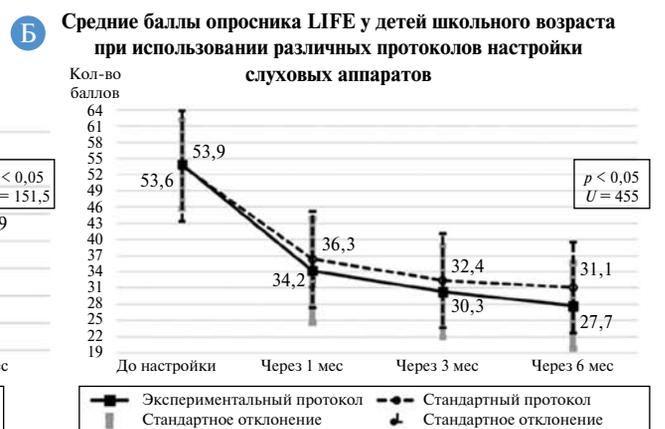
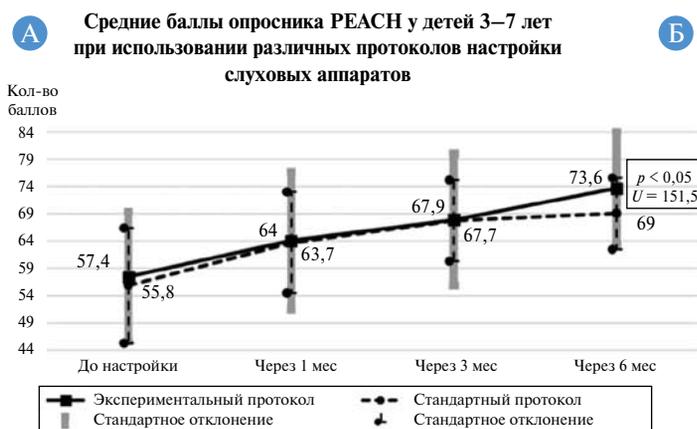
Таким образом, по данным электроакустической верификации отдельных функций СА неточности настроек по умолчанию и необходимость их коррекции выявляются с частотой от 12 до 70% (рис. 10).

**Опросники**

Результаты опросника PEACH у детей обеих групп (дошкольный возраст), полученные до слухопротезирования, не показали достоверных межгрупповых различий ( $p > 0,05$ ;  $U = 212$ ). После коррекции слуха выявлялся

прирост баллов в обеих группах. Увеличение показателей продолжалось все время наблюдения без значимой межгрупповой разницы вплоть до 6 мес ( $p > 0,05$ ). С одной стороны, это увеличение было связано с ростом и естественным развитием ребенка, а с другой — с адаптацией к СА, развитием слухового восприятия, выработкой слухового внимания, речевых и коммуникативных навыков. Через 6 мес после первичной настройки выявлена достоверная межгрупповая разница в показателях опросника PEACH. Так, результаты детей экспериментальной группы оказались достоверно выше по сравнению с результатами детей контрольной группы ( $p < 0,05$ ;  $U = 151,5$ ) (рис. 11А).

При оценке качества жизни детей школьного возраста с помощью опросника LIFE на этапе до слухопротезирования также не было обнаружено значимых межгрупповых различий ( $p > 0,05$ ;  $U = 574,5$ ). После коррекции слуха показатели снижались, что соответствует уменьшению слуховых затруднений у ребенка в различных ситуациях в школе. Достоверные различия были выявлены к 6 мес после первичного слухопротезирования: в экспериментальной группе результаты были достоверно ниже, чем в контрольной ( $p < 0,05$ ;  $U = 455$ ) (рис. 11Б).



**Рис. 11.** Результаты опросников PEACH (А) и LIFE (Б) до и в различные периоды после слухопротезирования

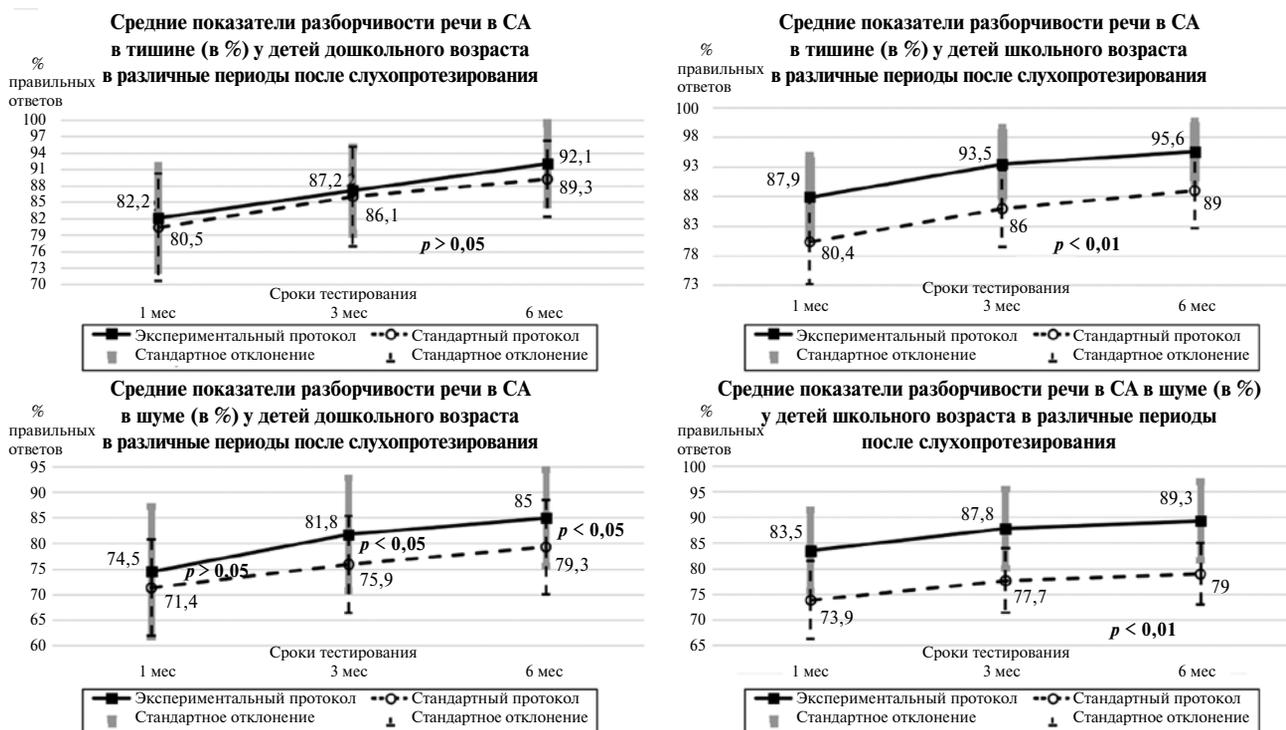


Рис. 12. Результаты речевой аудиометрии в тишине в СА в различные периоды после слухопротезирования

323

При этом в экспериментальной группе 5 детей школьного возраста (15%) к 6 мес после первичного слухопротезирования показали минимально возможный балл анкеты LIFE (18 баллов), что означает отсутствие каких-либо слуховых затруднений в школе. В контрольной группе таких случаев не наблюдалось.

**Речевая аудиометрия в СА**

В экспериментальной группе разборчивость речи в тишине была выше по сравнению с контрольной группой. При этом у детей дошкольного возраста различия не достигают уровня достоверности ( $p > 0,05$ ), а у школьников различия статистически достоверны на всех этапах тестирования ( $p < 0,01$ ).

У детей экспериментальной группы результаты речевой аудиометрии в СА в шуме были достоверно выше (за исключением детей дошкольного возраста через 1 мес после настройки), чем у детей контрольной группы ( $p < 0,05$  у дошкольников;  $p < 0,01$  у школьников) (рис. 12).

**Распознавание фонем**

Оценка фонематического распознавания продемонстрировала, что настройка по экспериментальному

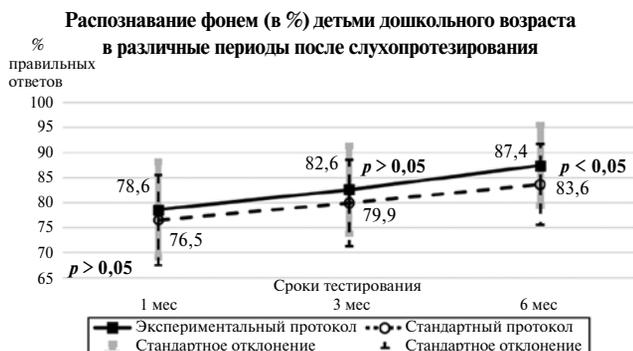


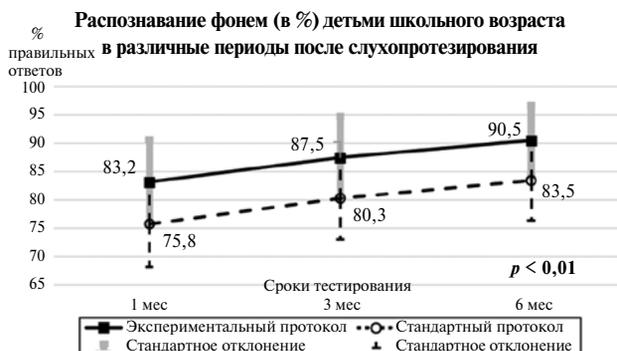
Рис. 13. Результаты оценки распознавания фонем

протоколу впоследствии приводит к лучшим результатам по сравнению с настройкой по стандартному протоколу. Разница между экспериментальной и контрольной группами у дошкольников становится достоверно значимой к 6-му мес использования СА ( $p < 0,05$ ;  $U = 161,5$ ), а у детей школьного возраста статистически значима с 1-го мес ( $p < 0,01$ ;  $U = 301$ ;  $U = 287,5$ ;  $U = 274,5$ ) (рис. 13).

**Время использования СА**

Выявлено, что дети дошкольного возраста в экспериментальной группе использовали СА несколько дольше, хотя разница не достигает статистической значимости ( $p > 0,05$ ;  $U = 209,5$ ;  $U = 180,5$ ;  $U = 192$ ). Дети школьного возраста (экспериментальная группа) использовали СА достоверно большее количество времени по сравнению с детьми контрольной группы начиная с 3-го мес после первичной настройки ( $p < 0,05$ ;  $U = 434$ ;  $U = 432$ ) (рис. 14).

Выявлено, что среднесуточное время использования детьми обеих групп СА постепенно нарастает с 1-го по 6-й мес, что свидетельствует об адаптации и является одним из индикаторов эффективной коррекции слуха [15].



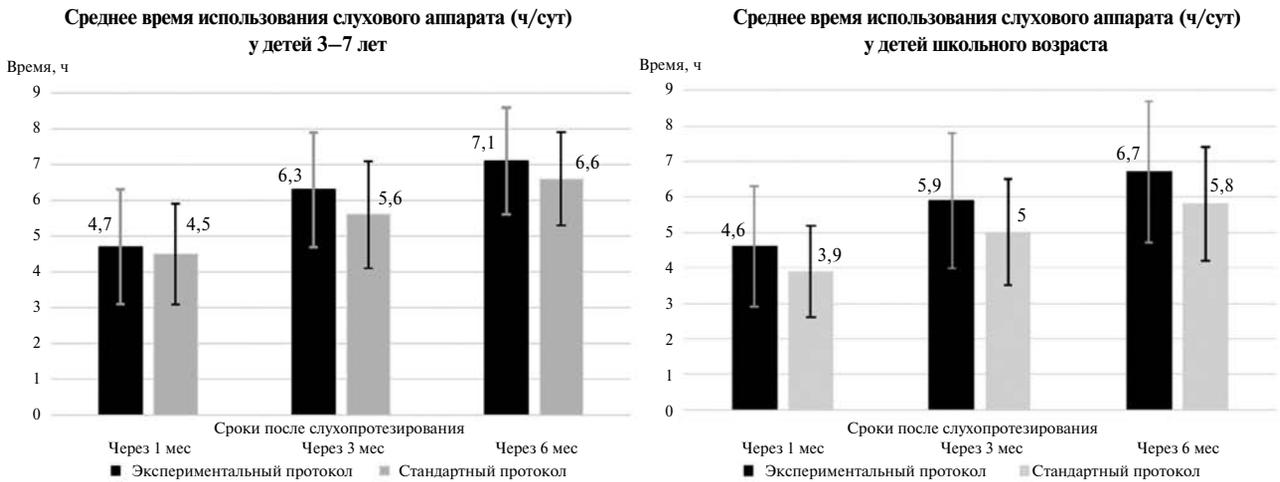


Рис. 14. Среднее время использования СА (ч/сут) в различные периоды после слухопротезирования. Вертикальные линии — стандартное отклонение

**Дополнительные результаты исследования**

**Время настройки**

Хронометраж продолжительности настройки показал, что слухопротезирование в соответствии с экспериментальным протоколом требовало достоверно больших временных затрат по сравнению со стандартным протоколом ( $p < 0,01$ ;  $U = 0,5$ ). Кроме того, в обеих группах у детей школьного возраста настройка проходила достоверно быстрее, чем у детей 3–7 лет (рис. 15).

В большинстве случаев в экспериментальной группе у детей дошкольного возраста и у некоторых детей школьного возраста первичную настройку приходилось выполнять за два приема, поскольку маленькому ребенку сложно находиться в кабинете врача более одного часа, сохраняя при этом спокойствие и внимание, необходимые для выполнения всех процедур.

**Нежелательные явления**

В первые 3–5 дней адаптации к СА у 3 детей экспериментальной и 2 детей контрольной групп возникали жалобы на дискомфорт от громкого шума или бытовых звуков, которые самостоятельно нивелировались в процессе адаптации к концу 1-й нед использования СА.

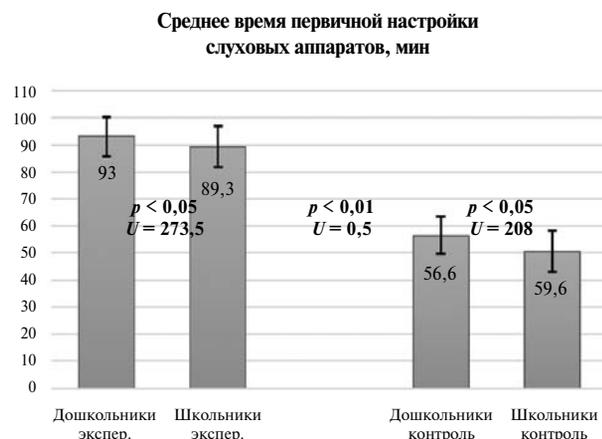


Рис. 15. Среднее время первичной настройки СА при использовании экспериментального и стандартного протоколов настройки у детей дошкольного и школьного возраста. Вертикальные линии — стандартное отклонение

**Обсуждение**

**Резюме основного результата исследования**

Протокол педиатрического слухопротезирования, основанный на объективной электроакустической верификации выходных параметров и функций СА, позволяет достоверно повысить эффективность коррекции слуха у детей. Разборчивость речи в тишине в экспериментальной группе у детей дошкольного возраста оказалась выше на 3,1% ( $p > 0,05$ ), а у детей школьного возраста — на 9,3% ( $p < 0,01$ ) по сравнению с детьми контрольной группы. Разборчивость речи в шуме у дошкольников выше на 7,8% ( $p < 0,05$ ), а у школьников — на 13% ( $p < 0,01$ ). Фонематическое различение у дошкольников экспериментальной группы оказалось выше на 4,5% ( $p < 0,05$ ), у школьников — на 9,8% ( $p < 0,01$ ) по сравнению с детьми контрольной группы. Поскольку результаты речевой аудиометрии в современной аудиологии признаются одним из основных индикаторов эффективности как слухопротезирования, так и кохlearной имплантации [28, 29], то данные, полученные в исследовании, демонстрируют значимое улучшение качества жизни детей при использовании предлагаемого протокола.

**Обсуждение основного результата исследования**

Настройка СА по предлагаемому протоколу, основанному на электроакустической верификации усиления и функций, требует от сурдолога-протезиста на 42% больше времени, чем настройка по стандартному протоколу. Так, настройка по экспериментальному протоколу занимала в среднем 1,5 ч, а по стандартному протоколу — 53 мин. Кроме того, необходимо наличие оборудования для измерений в реальном ухе и соответствующих компетенций у специалиста.

Однако в ходе проведенного исследования была доказана обоснованность этих затрат. Так, при оценке темпов слухоречевого развития у дошкольников (опросник PEACH) после использования экспериментального протокола результаты оказались на 6% лучше, чем при использовании стандартного протокола, а у школьников (опросник LIFE) — на 11%. Полученные результаты демонстрируют, что в отдаленном периоде после слухопротезирования (6 мес) у детей экспериментальной группы в возрасте 3–7 лет слухоречевое развитие происходит быстрее, а школьники испытывают меньше слуховых затруднений.

Различия были получены и по результатам речевого тестирования. Представленные результаты позволяют утверждать, что применение экспериментального протокола настройки приводит к улучшению разборчивости речи у детей дошкольного и школьного возраста, в особенности в шуме. Вероятно, это связано с тем, что в процессе верификации производятся уточнение значений усиления, амплитудной компрессии и частотного понижения для обеспечения слышимости всего речевого диапазона, оптимизация цифрового шумоподавления и подавления обратной связи во избежание негативного влияния данных алгоритмов на обработку речевых сигналов. В процессе стандартной настройки параметры функций, как правило, устанавливаются по умолчанию.

Согласно литературным данным, распознавание фонем зависит как от восходящих процессов (качество сигнала, соответственно, и настройки СА, состояние рецепторного и проводящего отделов слуховой системы), так и от нисходящего управления (состояние центральных отделов слуховой системы, слуховой памяти) [16]. Нами показано, что при электроакустической верификации настроек СА улучшается распознавание фонем вследствие улучшения качества сигнала.

Об эффективности экспериментального протокола свидетельствует и большее время использования СА. У детей, настройка которым проводилась с применением верификации, среднесуточное время использования СА было выше на 11–12% в зависимости от срока наблюдения.

На основании проведенного исследования была разработана форма протокола педиатрического слухопротезирования (см. табл. 1).

### Ограничения исследования

В исследовании не включались дети до 3 лет вследствие невозможности проведения речевой аудиометрии. Однако применение описываемой методики оправданно и при слухопротезировании детей раннего возраста, как это предписывается рекомендациями Ontario Infant Hearing Program (2019) [7]. При этом у детей раннего возраста целесообразно применение верификации СА в куплере (после предварительного измерения RECD). Показано, что верификация в куплере не уступает по точности верификации в реальном ухе [7]. Аналогичным образом в куплере могут быть верифицированы и вышеописанные функции СА, за исключением направленности микрофона.

### Заключение

На сегодняшний день в Российской Федерации отсутствует утвержденный клинический протокол педиатрического слухопротезирования. В то же время прогресс технологий современных СА, появление новых алгоритмов и функций требует объективных доказательств их безопасности и эффективности для детей

**Таблица 1.** Форма протокола педиатрической настройки СА (необходимо отметить подходящий вариант)

Акустические характеристики уха							
Тип передатчика при аудиометрии	<input type="checkbox"/>	Вставные наушники + губчатый вкладыш	<input type="checkbox"/>	Вставные наушники + индивидуальный вкладыш	<input type="checkbox"/>	TDH-39	
	<input type="checkbox"/>	ASSR / КСВП nHL	<input type="checkbox"/>	ASSR / КСВП eHL	<input type="checkbox"/>	Звуковое поле	
RECD	<input type="checkbox"/>	Новое измерение	<input type="checkbox"/>	Ранее измерена	<input type="checkbox"/>	Средневозрастные значения	
Куплер	<input type="checkbox"/>	HA-1	<input type="checkbox"/>	HA-2	<input type="checkbox"/>	0,4 см <sup>3</sup>	
Способ измерения	<input type="checkbox"/>	Губчатый вкладыш	<input type="checkbox"/>	Индивидуальный вкладыш			
Причина использования средневозрастных значений							
Модель СА на правом ухе							
Модель СА на левом ухе							
Состояние СА							
Состояние ушных вкладышей							
Электроакустическая верификация: оборудование							
Уровень тихой речи (55 дБ УЗД)	AD	<input type="checkbox"/>	В пределах ±5дБ	<input type="checkbox"/>	Выше цели	<input type="checkbox"/>	Ниже цели
	AS	<input type="checkbox"/>	В пределах ±5дБ	<input type="checkbox"/>	Выше цели	<input type="checkbox"/>	Ниже цели
Уровень нормальной речи (65 дБ УЗД)	AD	<input type="checkbox"/>	В пределах ±5дБ	<input type="checkbox"/>	Выше цели	<input type="checkbox"/>	Ниже цели
		SII	<input type="checkbox"/>	Норма	<input type="checkbox"/>	Не норма	
	AS	<input type="checkbox"/>	В пределах ±5дБ	<input type="checkbox"/>	Выше цели	<input type="checkbox"/>	Ниже цели
		SII	<input type="checkbox"/>	Норма	<input type="checkbox"/>	Не норма	
Уровень громкой речи (75 дБ УЗД)	AD	<input type="checkbox"/>	В пределах ±5дБ	<input type="checkbox"/>	Выше цели	<input type="checkbox"/>	Ниже цели
	AS	<input type="checkbox"/>	В пределах ±5дБ	<input type="checkbox"/>	Выше цели	<input type="checkbox"/>	Ниже цели
Максимальный ВУЗД	AD	<input type="checkbox"/>	В пределах ±5дБ	<input type="checkbox"/>	Выше цели	<input type="checkbox"/>	Ниже цели
	AS	<input type="checkbox"/>	В пределах ±5дБ	<input type="checkbox"/>	Выше цели	<input type="checkbox"/>	Ниже цели

Таблица. Окончание

Дополнительные функции			
Шумоподавление	Активировано	<input type="checkbox"/> Да	<input type="checkbox"/> Нет
	Верификация проведена	<input type="checkbox"/> Да	<input type="checkbox"/> Нет
	Уровень аттенуации	_____ дБ	
Частотное понижение	Активировано	<input type="checkbox"/> Да	<input type="checkbox"/> Нет
	Верификация проведена	<input type="checkbox"/> Да	<input type="checkbox"/> Нет
Направленность микрофона	<input type="checkbox"/> Всенаправленный	<input type="checkbox"/> Фиксированно направленный	<input type="checkbox"/> Адаптивно направленный
Подавление обратной связи	<input type="checkbox"/> Тест успешно	<input type="checkbox"/> Тест неуспешно	<input type="checkbox"/> Требуется замена вкладыша
DataLogging	<input type="checkbox"/> Вкл.	<input type="checkbox"/> Выкл.	Время использования СА _____ ч/сут
Вспомогательные слуховые устройства	<input type="checkbox"/> Не требуются	<input type="checkbox"/> Требуются _____	<input type="checkbox"/> Верификация проведена
Дискомфорт на громкие звуки — <input type="checkbox"/> Нет	<input type="checkbox"/> На низкочастотные	<input type="checkbox"/> На среднечастотные	<input type="checkbox"/> На высокочастотные
Пороги слуха в СА	AD	500 Гц _____	1 кГц _____
		2 кГц _____	4 кГц _____
	AS	500 Гц _____	1 кГц _____
		2 кГц _____	4 кГц _____
Данные речевой аудиометрии в СА (метод, условия тестирования, результат)			
Заключение об эффективности коррекции слуха			
Рекомендации			

326

с нарушениями слуха. Для решения этих задач был разработан алгоритм педиатрического слухопротезирования, предполагающий, помимо стандартных процедур (снятие слепка и изготовление индивидуального ушного вкладыша, измерение RECD, первичная и повторные настройки СА), объективную электроакустическую верификацию выходных параметров и отдельных функций СА: подавления обратной связи, амплитудной и частотной компрессии, направленности микрофона, цифрового шумоподавления. Выявлено, что настройка СА по предлагаемому протоколу занимает на 36–39 мин больше по сравнению со стандартной настройкой. Однако эффективность слухопротезирования по данному протоколу оказалась достоверно выше. По данным опросников REACH и LIFE через 6 мес после первичного слухопротезирования дети, настройка СА которым проводилась по экспериментальному протоколу, имели достоверно более высокие баллы по сравнению с детьми, настройка СА которым проводилась по стандартной методике. При использовании предлагаемого протокола разборчивость речи в тишине у детей дошкольного возраста оказалась выше (но без статистической значимости), а у детей школьного возраста — достоверно выше по сравнению со стандартной настройкой. Показатели разборчивости речи в шуме, фонематического различения, среднесуточное время использования СА у детей экспериментальной группы были достоверно выше по сравнению с таковыми у детей контрольной группы.

Таким образом, применение протокола педиатрического слухопротезирования, основанного на объективной электроакустической верификации выходных параметров и функций СА, позволяет достоверно повысить эффективность коррекции слуха у детей.

### Дополнительная информация

**Источник финансирования.** Рукопись подготовлена (работа/исследования выполнены) и опубликована за счет финансирования по месту работы авторов.

**Конфликт интересов.** Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

**Участие авторов.** Г.Ш. Туфатулин участвовал в формировании дизайна исследования, проводил слухопротезирование и оценку его эффективности, участвовал в написании статьи; Ю.К. Янов осуществлял научное руководство исследованием, сформулировал цель и задачи, проводил корректировку и одобрение рукописи для публикации; С.А. Артюшкин проводил статистическую обработку результатов исследования, участвовал в написании статьи; В.В. Дворянчиков участвовал в написании статьи, корректировке ее текста и одобрении рукописи для публикации. Все авторы статьи утвердили окончательный вариант рукописи и ответственны за достоверность и целостность всех частей данной публикации.

## ЛИТЕРАТУРА

- Carney A, Moeller MP. Treatment efficacy: Hearing loss in children. *J. Speech Lang Hear Res.* 1998;41(1):61–84. doi: <https://doi.org/10.1044/jslhr.4101.s61>
- Загорянская М.Е., Румянцева М.Г. Возможности своевременной ранней реабилитации детей с нарушениями слуха // *Российская оториноларингология.* — 2008. — № S1. — С. 257–261. [Zagoryanskaya ME, Romyantseva MG. Vozmozhnosti svoevremennoi rannei reabilitatsii detei s narusheniyami sluha. *Rossiiskaya otorinolaringologiya.* 2008;(S1):257–261. (In Russ.)]
- Королева И.В. *Диагностика и коррекция нарушений слуховой функции у детей раннего возраста.* СПб.: Издательство КАРО; 2005. [Koroleva IV. *Diagnostika i korrektsiya narusheniy sluhovoi funktsii u detei.* St. Petersburg: KARO; 2005. (In Russ.)]
- Королева И.В. *Основы аудиологии и слухопротезирования.* СПб.: Каро; 2022. [Koroleva IV. *Osnovy audiologii i slukhoprotezirovaniya.* St. Petersburg: KARO; 2022. (In Russ.)]
- Yoshinaga-Itana C, Couter D, Thomson V. Developmental outcomes of children with hearing loss born in Colorado hospitals with and without universal newborn hearing screening programs. *Semin Neonatol.* 2008;6(6):521–529. doi: <https://doi.org/10.1053/siny.2001.0075>
- Ching TY, Dillon H, Marnane V, et al. Outcomes of early- and late-identified children at 3 years of age: findings from a prospective population-based study. *Ear Hear.* 2013;34(5):535–552. doi: <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3182857718>
- Ontario Infant Hearing Program. *Protocol for the provision of amplification. Version 2019.01.* Ontario: Ontario Ministry of Children, Community and Social Services; 2019. 98 p.
- Joint Committee on Infant Hearing. Year 2019 position statement: Principles and guidelines for early hearing detection and intervention programs. *J Early Hear Detect Intervent.* 2019;4(2):1–44.
- Ching TY, Dillon H, Leigh G, Cupples L. Learning from the Longitudinal Outcomes of Children with Hearing Impairment (LOCHI) study: summary of 5-year findings and implications. *Int J Audiol.* 2018;57(sup2):S105–S111. doi: <https://doi.org/10.1080/14992027.2017.1385865>
- Tomblin JB, Harrison M, Ambrose SE, et al. Language outcomes in young children with mild to severe hearing loss. *Ear Hear.* 2015;36 Suppl (0 1):76S–91S. doi: <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000219>
- World Report on Hearing. In: *World Health Organization:* Official website. 3 March 2021. Available online: <https://www.who.int/publications/i/item/world-report-on-hearing>. Accessed on July 6, 2023.
- McCreery RW, Venediktov RA, Coleman JJ, Leech HM. An evidence-based systematic review of directional microphones and digital noise reduction hearing aids in school-age children with hearing loss. *Am J Audiol.* 2012;21(2):295–312. doi: [https://doi.org/10.1044/1059-0889\(2012\)12-0014](https://doi.org/10.1044/1059-0889(2012)12-0014)
- Ching TY, O'Brien A, Dillon H, et al. Directional effects on infants and young children in real life: Implications for amplification. *J Speech Lang Hear Res.* 2009;52(5):1241–1254. doi: [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2009\)08-0261](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2009)08-0261)
- Gou J, Valero J, Marcoux A. The effect of non-linear amplification and low compression threshold on receptive and expressive speech ability in children with severe to profound hearing loss. *J Educ Audiol.* 2002;10:1–14.
- McCreery RW, Walker EA. *Pediatric amplification. Enhancing Auditory Access.* San Diego, CA: Plural Publishing; 2017.
- Pittman AL, Stelmachowicz PG, Lewis DE, Hoover BM. Spectral characteristics of speech at the ear: implications for amplification in children. *J Speech Lang Hear Res.* 2003;46(3):649–657. doi: [10.1044/1092-4388\(2003\)051](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2003)051)
- McCreery RW, Bentler RA, Roush PA. The characteristics of hearing aid fittings in infants and young children. *Ear Hear.* 2013;34(6):701–710. doi: <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31828f1033>
- Туфатулин Г.Ш., Чинг Т., Савельева Е.Е., Савельев Е.С. Русскоязычная версия опросника PEACH (валидация и нормативные данные) // *Вестник оториноларингологии.* — 2021. — Т. 86. — № 2. — С. 10–15. [Tufatulin GSh, Ching T, Savelieva EE, Saveliev ES. Russian version of PEACH scale (validation and normative data). *Vestnik Oto-Rino-Laringologii.* 2021;86(2):10–15. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.17116/otorino20218602110>
- Anderson K, Smaldino J. Listening inventories for education: a classroom measurement tool. *The Hearing Journal.* 1999;52:74–76. doi: <https://doi.org/10.1097/00025572-199910000-00009>
- Seewald R, Moodie S, Scollie S, Bagatto M. The DSL method for pediatric hearing instrument fitting: historical perspective and current issues. *Trends Amplif.* 2005;9(4):145–157. doi: <https://doi.org/10.1177/108471380500900402>
- Feirn R. *Guidelines for Fitting Hearing Aids to Young Infants.* Version 2.0. 2014. 18 p.
- Scollie S, Levy C, Pourmand N, et al. Fitting noise management signal processing applying the American Academy of Audiology Pediatric Amplification Guideline: Verification protocols. *J Am Acad Audiol.* 2016;27(3):237–251. doi: <https://doi.org/10.3766/jaaa.15060>
- Dillon H. *Hearing aids. Second edition.* Sydney: Boomerang press; 2012.
- McCreery RW, Alexander J, Brennan MA, et al. The influence of audibility on speech recognition with non-linear frequency compression for children and adults with hearing loss. *Ear Hear.* 2014;35(4):440–447. doi: <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000027>
- Scollie S, Glista D, Seto J, et al. Fitting frequency-lowering signal processing applying the American Academy of Audiology Pediatric Amplification Guideline: Updates and protocols. *J Am Acad Audiol.* 2016;27(3):219–236. doi: <https://doi.org/10.3766/jaaa.15059>
- Stelmachowicz PG, Mace AL, Kopun JG, Carney E. Long-term and short-term characteristics of speech: implications for hearing aid selection for young children. *J Speech Hear Res.* 1993;36(3):609–620. doi: <https://doi.org/10.1044/jshr.3603.609>
- Бобошко М.Ю., Риехакайнен Е.И. *Речевая аудиометрия в клинической практике.* СПб.: Диалог; 2019. [Boboshko MYu, Riehakainen EI. *Recheyaya audiometriya v klinicheskoi praktike.* St. Petersburg: Dialog; 2019. (In Russ.)]
- Наумова И.В., Пашков А.В., Воеводина К.И., Фатахова М.Т. Восприятие речи и состояние порогов звуковосприятия у пациентов с кохлеарными имплантатами // *Вестник оториноларингологии.* — 2022. — Т. 87. — № 6. — С. 11–13. [Naumova IV, Pashkov AV, Voevodina KI, Fatakhova MT. Speech perception and the state of sound perception thresholds in patients with cochlear implants. *Vestnik Oto-Rino-Laringologii.* 2022;87(6):11–13. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.17116/otorino20228706111>
- Гойхбург М.В., Нечаев Д.И., Бахшиян В.В., Таварткиладзе Г.А. Оценка результатов реабилитации пользователей кохлеарных имплантатов с применением психоакустических методов исследования // *Вестник оториноларингологии.* — 2021. — Т. 86. — № 6. — С. 10–16. [Goykhburg MV, Nechaev DI, Bakhshinyan VV, Tavartkiladze GA. Evaluation of the cochlear implantation users rehabilitation results using psychoacoustic methods. *Bulletin of Otorhinolaryngology = Vestnik otorinolaringologii.* 2021;86(6):10–16. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.17116/otorino20218606110>

## КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

*Туфатулин Газиз Шарифович*, д.м.н. [*Gaziz Sh. Tufatulin*, MD, PhD]; адрес: 194356, Санкт-Петербург, ул. Есенина, д. 26, корп. 4 [address: 26/4 Esenina str., Saint Petersburg, 194356, Russian Federation]; e-mail: dr.tufatulin@mail.ru, eLibrary SPIN: 2802-5522, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6809-7764>

*Янов Юрий Константинович*, д.м.н., профессор, академик РАН [*Yuri K. Yanov*, MD, PhD, Professor, Academician of the RAS]; e-mail: 9153764@mail.ru, eLibrary SPIN: 4406-5143, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9195-128X>

*Артюшкин Сергей Анатольевич*, д.м.н., профессор [*Sergei A. Artyushkin*, MD, PhD, Professor]; e-mail: sergei.artyushkin@srgmu.ru, eLibrary SPIN: 5140-4055, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4482-6157>

*Дворяничков Владимир Владимирович*, д.м.н., профессор [*Vladimir V. Dvoryanchikov*, MD, PhD, Professor]; e-mail: 3162256@mail.ru, eLibrary SPIN: 3538-2406, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0925-7596>