

# Клинические испытания

Декабрь 2016



## SoundRecover2 в детской практике: Слышать то, что необходимо

Потенциальные преимущества новой адаптивной версии нелинейной частотной компрессии (НЛЧК), позволяющей использовать более низкие коэффициенты компрессии и граничные частоты, были изучены в детской популяции. В данной работе сравнивались показатели слышимости и разборчивости речи, полученные с использованием исходного и нового алгоритмов НЛЧК. Согласно полученным результатам, новая адаптивная версия НЛЧК обеспечивает лучшую доступность высокочастотных речевых звуков и повышает разборчивость односложных СГС-слов (согласная-гласная-согласная) без снижения разборчивости речи. Эта новая адаптивная НЛЧК-обработка, получившая название НЛЧК-2, лежит в основе алгоритма Phonak SoundRecover2, представленного в 2016 г.

### Введение

В 2008 г. компания Phonak впервые представила основанный на нелинейной частотной компрессии (НЛЧК) алгоритм SoundRecover, позволявший восстановить слышимость недоступных при обычном усилении высокочастотных звуков. Используемая в SoundRecover технология NLFC сжимает высокочастотные акустические входные сигналы, перемещая их в более низкочастотную область. Эта технология может обеспечить детям доступность важных для развития речи высокочастотных звуков, в частности, фрикативов /ф/, /с/ и /ш/.

Обзор исследований, посвященных преимуществам такой обработки сигнала у детей, показывает, что SoundRecover может улучшить разборчивость речи при условии выполнения надлежащей верификации (Glista, Scollie, 2012; Glista с соавт., 2009; Glista, Scollie, Sulkers, 2012; Wolfe, Caraway, John, Schafer, Nyffeler, 2009; Wolfe с соавт., 2010; Wolfe с соавт., 2015). Несмотря на хорошо известные преимущества SoundRecover, завышение параметров НЛЧК (например, слишком высокий коэффициент компрессии и слишком низкая граничная частота) может привести к значительному искажению исходного речевого сигнала, вплоть до дискомфорта и неразборчивости (Hillock-Dunn, Buss, Duncan, Roush, Leibold, 2014).

Для преодоления этих ограничений было создано второе поколение НЛЧК, НЛЧК-2. Главное различие между исходной версией НЛЧК и адаптивной НЛЧК-2 состоит в том, что алгоритм НЛЧК-2 не статичен, а адаптивно реагирует на распределение энергии входного сигнала. Кроме того, НЛЧК-2 характеризуется второй граничной частотой, "защищающей" низкочастотные звуки, такие как гласные и звонкие согласные. Согласно схеме обработки сигнала НЛЧК-2, звуки, частота которых меньше нижней граничной частоты, всегда остаются неизменными (т.е. к ним применяется линейная частотная обработка). Звуки, частота которых превышает верхнюю граничную частоту, всегда подвергаются частотной компрессии. Обработка звука, частота которого лежит между нижней и верхней граничными частотами, зависит от мгновенного распределения энергии входного сигнала. В этой области система адаптивно и мгновенно решает, применять или не применять частотную компрессию.

При надлежащем значении верхней граничной частоты нижнюю граничную частоту можно установить гораздо ниже 1500 Гц, что было пределом в исходном варианте алгоритма. Соотношение формант гласных

звук не будет нарушено, т.к. адаптивный алгоритм включает частотную компрессию средне- и высокочастотных входных сигналов только при их доминировании над одновременно присутствующими низкочастотными компонентами. Кроме того, использование более низкой граничной частоты позволит применять меньшие коэффициенты компрессии, а это положительно скажется на сохранности спектральной формы средне- и высокочастотных фонем и окружающих звуков.

В данной работе исходной версии НЛЧК (использовавшейся в первом поколении SoundRecover) соответствует аббревиатура НЛЧК-1, а адаптивная НЛЧК (используемая в SoundRecover2) именуется НЛЧК-2. Цель работы заключалась в оценке эффективности применения адаптивного алгоритма нелинейной частотной компрессии у детей.

## Методика

### Участники исследования

В исследовании приняли участие 14 детей. У всех детей ранее была обнаружена тугоухость: от малой/умеренной на низких частотах до тяжелой/глубокой на высоких частотах. Средний возраст детей составлял 11 лет и 6 месяцев (от 6 до 17 лет). Все испытуемые ранее пользовались НЛЧК-1. Родным языком для всех был английский. Показатели рецептивной и экспрессивной устной речи находились в пределах двух стандартных отклонений от возрастных норм.

Из исследования были исключены дети с расстройствами спектра слуховой нейропатии, ретрокохлеарной патологией слуха, когнитивно-неврологическими нарушениями и/или неграмотностью (последняя не позволяла использовать анкетирование и задания, связанные с разборчивостью речи в закрытом выборе).

### Подбор и настройка слуховых аппаратов

Всем участникам исследования был бинаурально подобран прототип заушного слухового аппарата Phonak Naída Q-90 позволяющий применять несколько алгоритмов НЛЧК. В реальном ухе проводили измерение разности между реальным ухом и куплером для того, чтобы выходной сигнал слуховых аппаратов при выключенной НЛЧК максимально (в пределах  $\pm 2$  дБ) соответствовал целевым значениям DSL v5.0 для входного речевого сигнала уровнем 55, 65 и 75 дБ УЗД. Во всех слуховых аппаратах было задействовано активное подавление обратной связи. Перед измерениями в реальном ухе проводили калибровку и замеры обратной акустической связи.

### План исследования

Исследование проводили в три этапа. Длительность каждого этапа составляла 4-6 недель. На каждом этапе участники исследования пользовались одним из трех вариантов НЛЧК: НЛЧК-1, НЛЧК-2А и НЛЧК-2В. Предполагалось, что все участники были абсолютно привычны к НЛЧК-1, т.к. они использовали этот алгоритм ранее. Что же касается обоих вариантов НЛЧК-2, оценка их эффективности проводилась в начале и по окончании соответствующего этапа (через 4-6 недель).

#### 1. НЛЧК-1

Параметры НЛЧК-1 у каждого участника были идентичны использовавшимся в их собственных слуховых аппаратах, настроенных согласно протоколу верификации и точной настройки, описанному ранее Glista с соавт. (2009). При активированной НЛЧК проводили измерения в реальном ухе, чтобы убедиться, что фонема /с/, произнесенная женским голосом на уровне 65 дБ УЗД, достаточно хорошо слышна в исходных настройках НЛЧК-1 (т.е., что уровень подвергнувшегося компрессии сигнала достигает или превышает расчетное значение DSL v5.0 на целевой частоте). Если фонема /с/ была не слышна, выполнялась точная настройка НЛЧК-1.

НЛЧК-1 сравнивали с двумя вариантами настройки НЛЧК-2.

#### 2. НЛЧК-2А

НЛЧК-2А настраивалась на основании аудиограммы испытуемого по следующим критериям. Максимальная выходная частота НЛЧК-2А устанавливалась в соответствии с точкой пересечения пороговой кривой с кривой максимального уровня выходного сигнала слухового аппарата при

отключенной НЛЧК. Верхняя граничная частота устанавливалась согласно точке пересечения кривой выходного речевого сигнала уровнем 80 дБ УЗД с пороговой кривой. В результате удавалось защитить максимально широкий гармонический диапазон с помощью НЛЧК-2.

### 3. НЛЧК-2В

Настройки НЛЧК-2В были промежуточными между НЛЧК-2А и НЛЧК-1. У каждого испытуемого максимальная выходная частота НЛЧК-2В была такой же, как для НЛЧК-1. Верхняя граничная частота была выше, чем для НЛЧК-2А. Коэффициент частотной компрессии также был более высоким. Верхняя же граничная частота была ниже, чем для НЛЧК-2А. За счет этого слышимый диапазон был почти таким же, как для НЛЧК-1 после точной настройки. Такая настройка была выбрана для проверки субъективных предпочтений НЛЧК-1 и НЛЧК-2 в условиях сходного качества звука, подвергшегося частотной компрессии.

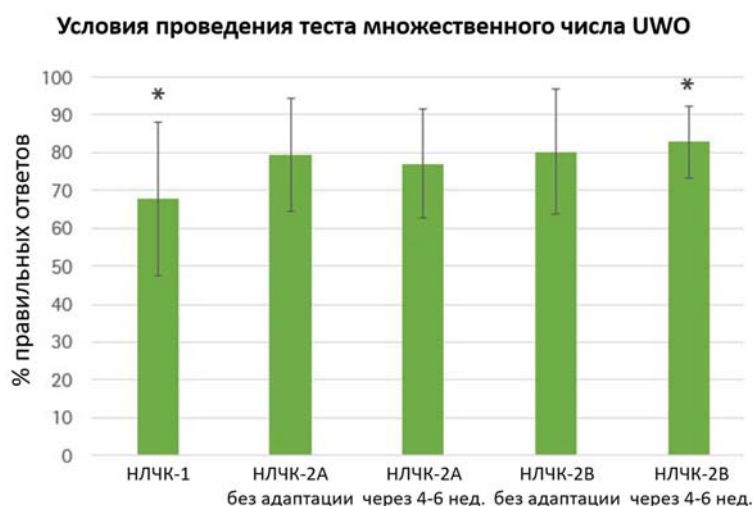
### Методы оценки результатов

Разборчивость речи в открытом выборе оценивали с помощью трех показателей: тест множественного числа Университета Западного Онтарио (UWO) (Glista, Scollie, 2012), тест распознавания односложных слов "согласная-гласная-согласная (СГС)" (Peterson, Lehiste, 1962) и тест восприятия фонем Phonak (PPT) (Schmitt, Winkler, Boretzki, Holube, 2016).

## Результаты

### Тест множественного числа UWO

Средние показатели теста множественного числа UWO представлены на рис. 1.



**Рис. 1:** Средние показатели теста множественного числа UWO в различных условиях его проведения. \*Статистически значимые различия:  $p = 0,02$ .

Очевидно, что показатели НЛЧК-2В (спустя 4-6 недель после начала использования) были статистически значимо выше показателей НЛЧК-1 (т.е. исходного варианта SoundRecover).

### Тест распознавания СГС-слов

Средние показатели распознавания слов при пяти вариантах проведения теста представлены на рис. 2 (уровень предъявления сигнала 50 дБА) и рис. 3 (уровень предъявления сигнала 60 дБА).

Согласно представленным на рис. 2 и 3 результатам, при обоих уровнях предъявления сигнала (50 и 60 дБА) средние показатели НЛЧК-2А (через 4-6 недель) и НЛЧК-2В (через 4-6 недель) были статистически значимо выше показателей НЛЧК-1 (т.е. исходного варианта SoundRecover).

### Тест PPT: пороги обнаружения

Статистически значимых различий между результатами, полученными при разных вариантах НЛЧК, не было, однако для некоторых стимулов отмечено снижение порогов обнаружения до 4 дБ УЗД при использовании алгоритма НЛЧК-2В по сравнению с алгоритмами НЛЧК-1 и НЛЧК-2А.

### Условия проведения теста распознавания СГС-слов (50 дБА)

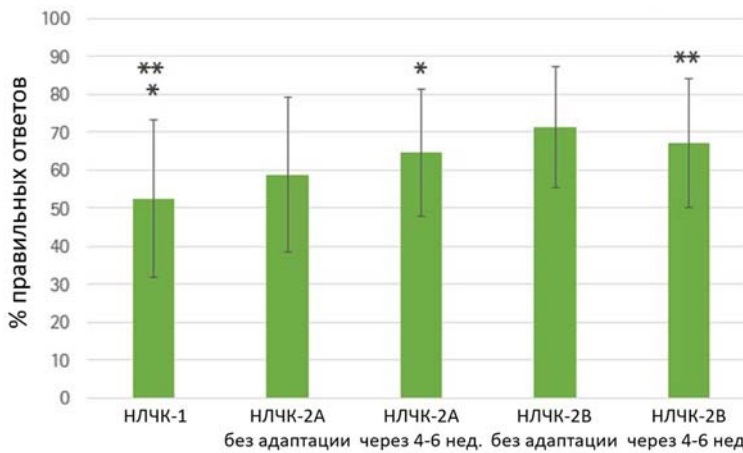


Рис. 2: Средние показатели теста распознавания СГС-слов (50 дБА) в различных условиях его проведения. \* и \*\* Статистически значимые различия: \* $p = 0,005$ , \*\* $p = 0,004$ .

### Условия проведения теста распознавания СГС-слов (60 дБА)

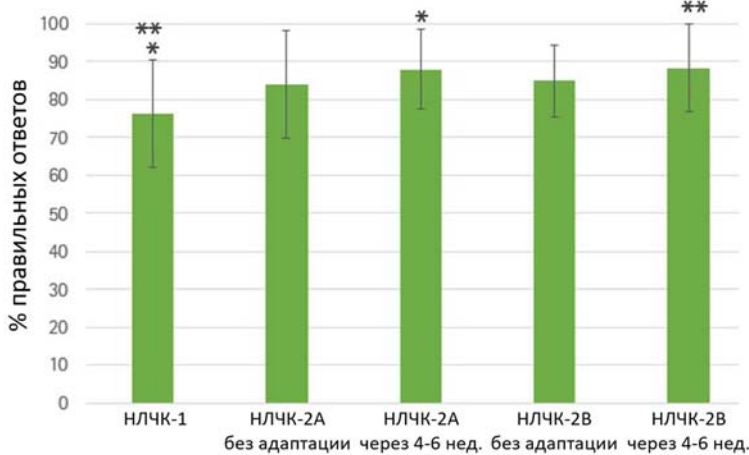


Рис. 3: Средние показатели теста распознавания СГС-слов (60 дБА) в различных условиях его проведения. \* и \*\* Статистически значимые различия: \* $p = 0,005$ , \*\* $p = 0,004$ .

### Тест РРТ: пороги распознавания

Средние пороги распознавания для различных сочетаний НЛЧК и стимулов представлены на рис. 4.

### Стимулы и условия проведения теста РРТ (распознавание) после периода адаптации

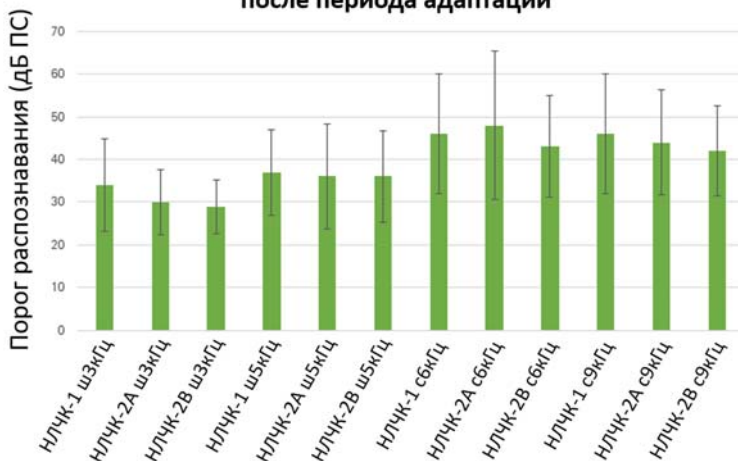


Рис. 4: Средние пороги распознавания четырех стимулов в тесте РРТ для НЛЧК-1 и НЛЧК-2 (после периода адаптации).

Статистически значимых различий между отдельными вариантами НЛЧК не обнаружено, однако у большинства испытуемых пороги распознавания всех изучавшихся фонем снижались (т.е. улучшались) при использовании НЛЧК-2В спустя 4-6 недель после начала исследования.

## Обсуждение

Согласно результатам настоящего исследования, адаптивный алгоритм НЛЧК обеспечивает более высокие показатели обнаружения и распознавания высокочастотных речевых звуков по сравнению с исходной версией НЛЧК. Кроме того, нет признаков снижения разборчивости речи при использовании адаптивного алгоритма НЛЧК.

Не все полученные результаты были статистически значимыми, однако отмечена тенденция к несколько лучшим показателям при использовании промежуточной версии НЛЧК-2, а именно НЛЧК-2В. Адаптивное функционирование НЛЧК-2 в сочетании с второй граничной частотой позволяет значительно снизить первую граничную частоту по сравнению с используемой в НЛЧК-1.

Настоящее исследование не лишено недостатков. Во-первых, не изучались показатели в шуме. Не исключено, что НЛЧК-2 улучшает разборчивость речи в тишине, но никак не сказывается на разборчивости речи в шуме. Во-вторых, настройки НЛЧК-2 основывались на настройках НЛЧК-1, использовавшихся детьми до начала исследования. Вполне допустимо, что преимущества НЛЧК-2 были бы еще очевиднее при оптимизации индивидуальных настроек с использованием объективных (измерения в реальном ухе) и субъективных показателей. Кроме того, весьма вероятно, что преимущества НЛЧК-2 над НЛЧК-1 недооценены в настоящем исследовании из-за слишком короткого (4-6 недель) периода адаптации. В-третьих, показатели, полученные с использованием НЛЧК-1 и НЛЧК-2, не сравнивались с показателями, полученными без НЛЧК. В предыдущих работах было показано, что у детей с такими же нарушениями слуха, как у наших испытуемых, использование НЛЧК-1 не только не ухудшает, но и в ряде случаев улучшает показатели разборчивости речи по сравнению с отсутствием НЛЧК (Glista с соавт., 2009). Однако в настоящей работе такие исследования не проводились, поэтому вывод о преимуществах НЛЧК-2 над традиционным звукоусилением был бы неправомерен.

## Заключение

Эффективность применения адаптивной нелинейной частотной компрессии на показатели слышимости и разборчивости речи у детей изучались путем сравнения НЛЧК-2, базового алгоритма SoundRecover2, с исходным алгоритмом частотного понижения SoundRecover. Результаты свидетельствуют о следующих преимуществах нового алгоритма НЛЧК:

- бóльшая доступность высокочастотных речевых звуков
- лучшее распознавание односложных СГС-слов.

Не отмечено ухудшения разборчивости речи. Кроме того, опытные пользователи традиционной НЛЧК (т.е. исходного варианта SoundRecover) смогли перейти на новую адаптивную НЛЧК без длительного периода адаптации.

## Литература

Glista, D., Scollie, S., Bagatto, M., Seewald, R., Parsa, V., & Johnson, A. (2009). Evaluation of nonlinear frequency compression: Clinical outcomes. *International Journal of Audiology*, 48(9), 632-644.

Glista, D., & Scollie, S. (2012). Development and evaluation of an English language measure of detection of word-final plurality markers: The University of Western Ontario Plurals Test. *American Journal of Audiology*, 21(1), 76-81.

Glista, D., Scollie, S., & Sulkers, J. (2012). Perceptual Acclimatization Post Nonlinear Frequency Compression Hearing Aid Fitting in Older Children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 55(6), 1765-1787.

Hillock-Dunn, A., Buss, E., Duncan, N., Roush, P., & Leibold, L. (2014). Effects of Nonlinear Frequency Compression on Speech Identification in Children with Hearing Loss. *Ear and Hearing*, 35, 353-365.

John, A., Wolfe, J., Scollie, S., Schafer, E.C., Hudson, M., & Woods, A. (2014). Evaluation of wideband frequency responses and non-linear frequency compression for children with cookie-bite audiometric configurations. *Journal of the American Academy of Audiology*, 25(10), 1022-1033.

Peterson, G.E., & Lehiste, I. (1962) Revised CNC lists for auditory tests. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 27, 62–70.

Schmitt, N., Winkler, A., Boretzki, M., & Holube, I. (2016). A Phoneme Perception Test method for high-frequency hearing aid fitting. *Journal of the American Academy of Audiology*, 27, 367–379.

Wolfe, J., Caraway, T., John, A.B., Schafer, E., & Nyffeler, M. (2009). Study suggests that non-linear frequency compression helps children with moderate loss. *The Hearing Journal*, 62(9), 32-37.

Wolfe, J., John, A.B., Schafer, E., Nyffeler, M., Boretzki, M., & Caraway, T. (2010). Evaluation of non-linear frequency compression for school-age children with moderate to moderately-severe hearing loss. *Journal of the American Academy of Audiology*, 21(10), 618-628.

Wolfe, J., John, A.B., Schafer, E.C., Hudson, M.A., Boretzki, M., Scollie, S., ... Neumann, S. (2015). Evaluation of Wideband Frequency Responses and Non-Linear Frequency Compression for Children with Mild to Moderate High-Frequency Hearing Loss. *International Journal of Audiology*, 54(3), 170-181.

## Автор



Jase Wolfe (Джейс Вулф), PhD, доцент факультетов аудиологии Университета Оклахомы и Университета Салус. Д-р Вулф оказывает помощь детям и взрослым с нарушениями слуха. Основные сферы интересов – коррекция нарушений слуха в детском возрасте с помощью слуховых аппаратов и кохлеарных имплантов, персональные FM-системы и обработка сигнала, применяемая в детском слухопротезировании.