

Педиатрическая верификация SoundRecover2

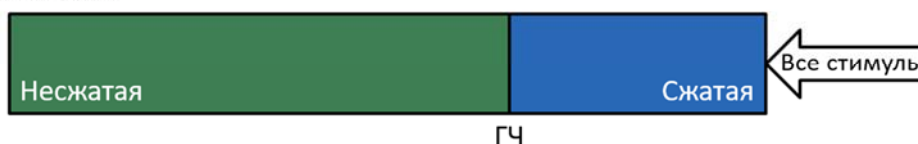
Что такое SoundRecover?

SoundRecover – это алгоритм понижения частоты сигнала, используемый в слуховых аппаратах Phonak. Задача SoundRecover состоит в понижении частоты высокочастотных звуков до области слышимых частот, если не удастся добиться их слышимости посредством традиционного звукоусиления. Изначально работа SoundRecover определялась двумя параметрами: граничной частотой (ГЧ) и коэффициентом компрессии (КК) (рис. 1). ГЧ – это нижняя граница сжимаемой области сигнала. Ниже ГЧ частота обрабатываемого слуховым аппаратом сигнала не меняется. Выше ГЧ сигнал подвергается частотной компрессии с постоянным КК. Новейшее поколение этого алгоритма, SoundRecover2, представляет собой адаптивную нелинейную частотную компрессию. SoundRecover2 сохранил основные черты исходной версии: защита структуры низкочастотных звуков (таких, как гласные) и сжатие высокочастотных звуков (таких, как фрикативы). Уникальность SoundRecover2 в том, что защищенная область и нижняя граница сжимаемого диапазона не фиксированы, как в исходной версии SoundRecover. Напротив, они меняются в зависимости от входного сигнала (рис. 1). Поэтому SoundRecover2 обладает двумя граничными частотами, ГЧ1 и ГЧ2. В зависимости от распределения энергии входного сигнала адаптивный алгоритм SoundRecover2 мгновенно выбирает нужную граничную частоту (Rehmann, Jha, Allegro Baumann, 2016). В результате возможна избирательная компрессия согласных звуков речи в реальном времени.

SoundRecover выкл.



SoundRecover вкл.



SoundRecover2 вкл.



Частота (Гц)

Рис. 1: Концептуальная иллюстрация частотного распределения энергии в выходном сигнале: SoundRecover выключен (верхний график), SoundRecover включен (второй сверху), два альтернативных режима частотной компрессии SoundRecover2 (два нижних графика). Термины "ВЧ-стимулы" и "НЧ-стимулы" означают преобладание высоко- и низкочастотной энергии во входном сигнале, соответственно.

Функциональные принципы SoundRecover и SoundRecover2 аналогичны: защита гармонической структуры речи в максимальном диапазоне частот. В SoundRecover это достигается выбором значения ГЧ от 1500 до 6000 Гц, в зависимости от введенной аудиограммы. В SoundRecover2 система может автоматически переключаться между двумя конфигурациями частотной компрессии, в зависимости от спектра входного сигнала. Это происходит адаптивно: при преобладании высокочастотных сигналов выбирается ГЧ1, а при преобладании низкочастотных сигналов – ГЧ2 (рис. 1). В результате низкочастотные сигналы, не нуждающиеся в частотном понижении, остаются несжатыми.

Программа настройки Target позволяет включать/выключать алгоритм SoundRecover2, а также осуществлять его точную настройку. Для этого используются два регулятора (рис. 2):

- 1) Регулятор "слышимость-различимость": верхний регулятор в программе Target. Он представляет собой гибридный регулятор, меняющий значения ГЧ1, ГЧ2 и КК. При перемещении регулятора влево частотное понижение усиливается, а при перемещении вправо – ослабевает.
- 2) Регулятор "четкость-комфорт": нижний регулятор в программе Target. Используется для дополнительной точной настройки SoundRecover2, главным образом, путем изменения ГЧ2. При перемещении регулятора вправо частотное понижение, в целом, ослабевает.

Эти два регулятора взаимосвязаны: при каждом изменении положения верхнего регулятора нижний регулятор возвращается в исходное положение. Функционирование обоих регуляторов подробно описано в работе Rehmann с соавт. (2016).

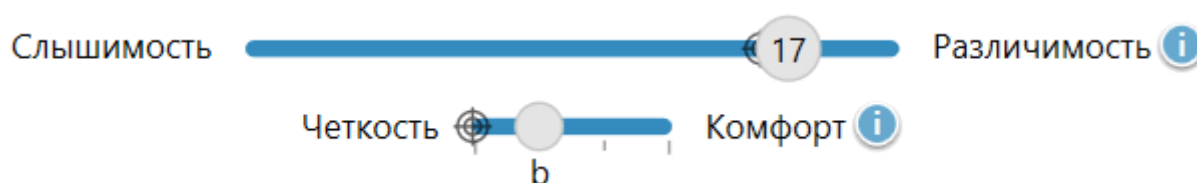


Рис. 2: Регуляторы, используемые для настройки SoundRecover2 в программе Target.

Использование гласных звуков для иллюстрации работы SoundRecover2

Гласные звуки – это гармонические сигналы, характеризующиеся наличием гармоник на всех частотах, кратных основной частоте голоса говорящего. Например, если основная частота (F0) женского голоса равна 200 Гц, гармоники можно обнаружить на частотах, кратных 200: 400 Гц, 600 Гц, 800 Гц и т.д. В зависимости от положения артикуляторов рта определенные области этих гармоник будут естественным образом усиливаться, образуя формантные полосы.

Форманты гласного звука /и/, произнесенного женским голосом, представлены на рис. 3а и 3б. Сравнивая спектрограмму неусиленного звука /и/ (рис. 3а) со спектром того же сигнала после его усиления (рис. 3б), можно отметить, что частота F0 приблизительно равна 230 Гц, частота первой форманты (F1) – 450 Гц, а комплекс второй и третьей формант (F2-F3) занимает область 2600-3400 Гц. Если стимул /и/ усиливается без SoundRecover, частотное расположение этих формант не меняется.

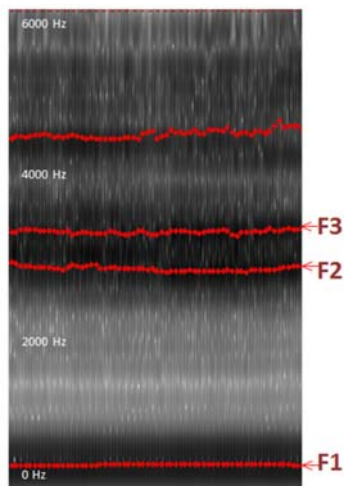


Рис. 3а: Спектрограмма гласного звука /и/ с примерным расположением частот трех первых формант. (Спектрограмма создана с помощью программы Praat®).

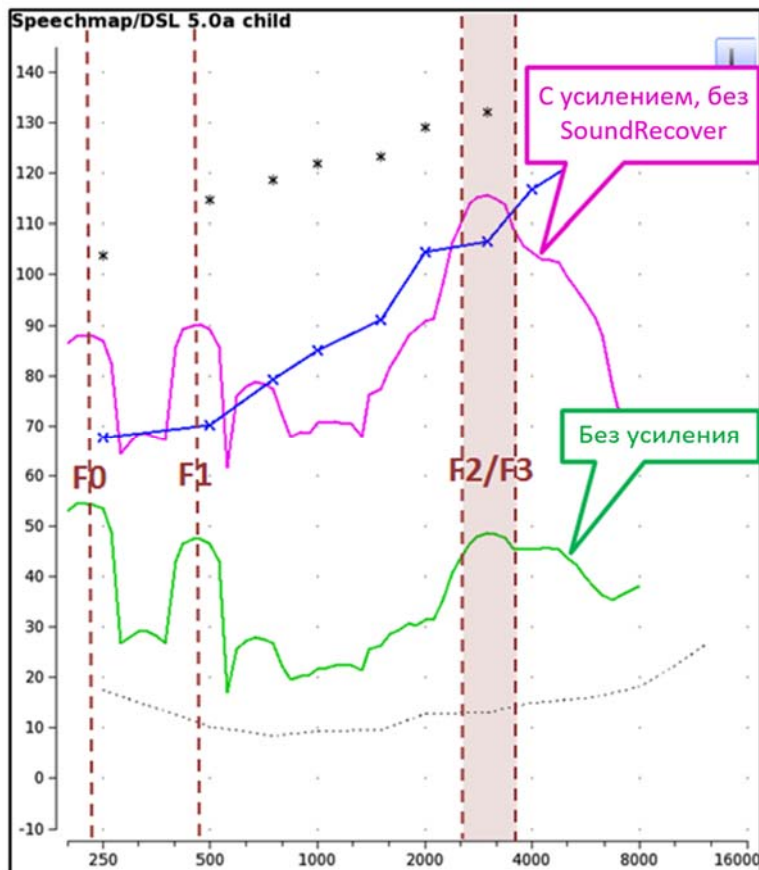


Рис. 3б: Гласный звук /у/, зарегистрированный прибором Audioscan® Verifit 2 без усиления (зеленая кривая) и с усилением (фиолетовая кривая). SoundRecover выключен. Вертикальными пунктирными линиями отмечено приблизительное расположение F0, F1 и комплекса F2-F3.

При использовании исходной версии SoundRecover форманты, оказавшиеся выше ГЧ, подвергаются частотному понижению, что приводит к уменьшению частотного разнесения формант. Пользователи слуховых аппаратов могут отметить неестественность звучания. Напротив, SoundRecover2 адаптивно защищает верхние форманты гласных звуков путем надлежащего выбора параметра ГЧ2. При этом форманты гласных подвергаются меньшей компрессии или же вообще не сжимаются, оставаясь в той же частотной области, что и без SoundRecover. Поэтому алгоритм частотной компрессии SoundRecover2 сохраняет более естественную формантную структуру гласных звуков и качество звучания.

На рис. 4 представлено сравнение алгоритмов SoundRecover и SoundRecover2, подчеркивающее важную роль параметра ГЧ2 в сохранении формантной структуры гласных звуков. С помощью системы Audioscan® Verifit 2 регистрировали стимул /и/, обработанный обоими алгоритмами, а также при выключенном SoundRecover. В последнем случае (фиолетовая кривая) пик верхних формант звука /и/ приходится на 3000 Гц. Алгоритм SoundRecover (оранжевая кривая) обеспечивает постоянное частотное понижение, приводящее к снижению частоты пика /и/ примерно до 2000 Гц. Новый алгоритм SoundRecover2 (голубая кривая) распознает /и/ как низкочастотный стимул, не требующий частотной компрессии. Поэтому область формант F2-F3 не понижается и практически совпадает с кривой, зарегистрированной при выключенном SoundRecover. Очевидно, что пользователь по-разному оценит качество звучания в этих ситуациях.

На рис. 5 представлена точная настройка SoundRecover2 в программе Target. Положение регуляторов такое же, как на рис. 2. С помощью верхнего регулятора (слышимость-различимость) были заданы следующие параметры: ГЧ1 = 3,4 кГц; КК = 1,1:1. С помощью нижнего регулятора (четкость-комфорт) значение ГЧ2 установлено на 5,1 кГц. Такая настройка обеспечивает частотную компрессию на частотах свыше 3,4 кГц (ГЧ1) при преобладании высокочастотных сигналов и частотную компрессию на частотах свыше 5,1 кГц (ГЧ2) при преобладании низкочастотных сигналов. Вне зависимости от граничной частоты коэффициент компрессии составляет 1,1:1 (КК). Настройку SoundRecover2 можно изменить, перемещая регуляторы вправо (более высокие значения ГЧ1/ГЧ2) или влево (более низкие значения ГЧ1/ГЧ2).

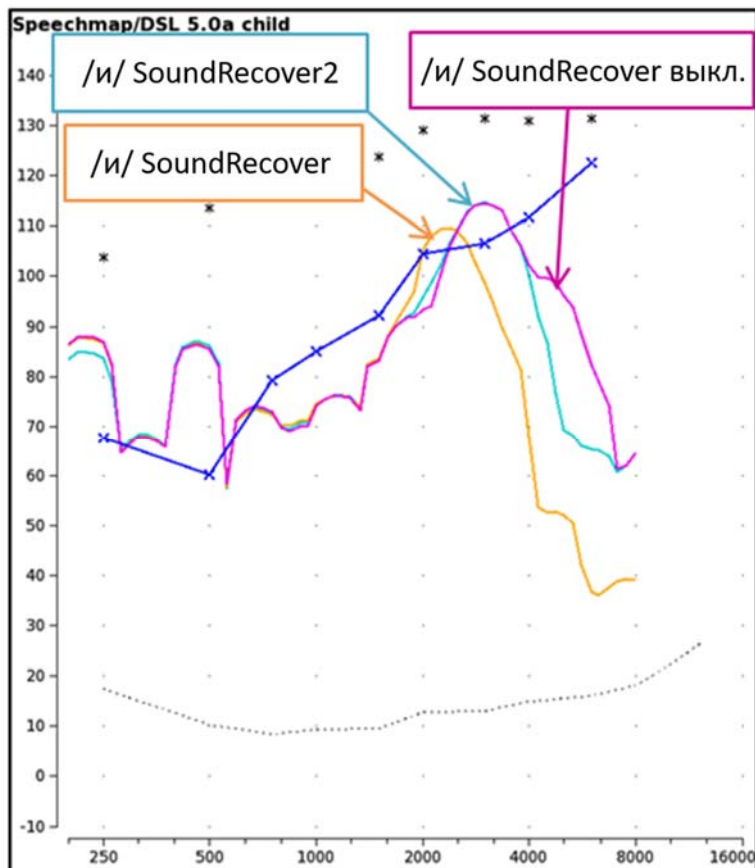


Рис. 4: Гласный звук /и/, зарегистрированный системой Audioscan® Verifit 2 с использованием алгоритма SoundRecover (оранжевая кривая), SoundRecover2 (голубая кривая) и при выключенном SoundRecover (фиолетовая кривая).



Рис. 5: Скриншот модуля настройки SoundRecover2 в программе Phonak Target с двумя регуляторами – "слышимость-различимость" и "четкость-комфорт". Показаны также значения ГЧ1 и ГЧ2. Числовые значения ГЧ1 и КК отображены над верхним регулятором (обведены красным).

Как при любой педиатрической настройке слуховых аппаратов, необходима клиническая верификация, подтверждающая надлежащий уровень усиления и выхода на всех частотах. В качестве стартовой точки мы предлагаем выбор проверенной расчетной формулы. Кроме того, мы советуем предпринять несколько дополнительных шагов по проверке необходимой степени частотного понижения. Это позволит обеспечить ребенку доступность важных речевых звуков, необходимых для речезыкового развития.

Ниже мы рассмотрим стимулы, методику и оценку результатов верификации настройки слуховых аппаратов с применением алгоритма SoundRecover2. Особое внимание будет уделено новым стимулам, используемым в программном обеспечении Audioscan® Verifit, разработанным специально для верификации технологий частотного понижения, таких как SoundRecover2. Обсуждаемые в данной статье принципы могут быть применены к любым другим системам верификации.

Новые методы верификации

Для верификации частотного понижения предложено много различных стимулов, в том числе изолированные высокочастотные звуки (Glista, Scollie, 2009). В данной статье мы рассмотрим протокол, использующий предварительно записанные калиброванные речевые сигналы /с/ и /ш/, доступные в системе Verifit 2 (Scollie с соавт., 2016). Согласно действующим в настоящее время клиническим рекомендациям, необходимо предварительно постараться максимально приблизить параметры слухового аппарата к расчетным целевым значениям, не активируя SoundRecover2 (AAA, 2013). После этого аудиолог может найти частоту, начиная с которой выход слухового аппарата не достигает уровня слышимости данного пациента – "максимальную слышимую выходную частоту" (MAOF) (McCreery с соавт., 2014; McCreery с соавт., 2013).

В данном протоколе для определения диапазона MAOF используется непрерывный речевой сигнал ISTS (международный речевой тестовый сигнал). Диапазон MAOF заключен между точкой, в которой долгосрочный усредненный речевой спектр (LTASS) пересекает пороговую кривую, и точкой, в которой пороговую кривую пересекают пиковые уровни речевого сигнала (рис. 6). Этот диапазон представляет собой целевую область, в которую необходимо вместить калиброванный стимул /с/ в ходе верификации и точной настройки (Scollie с соавт., 2016).

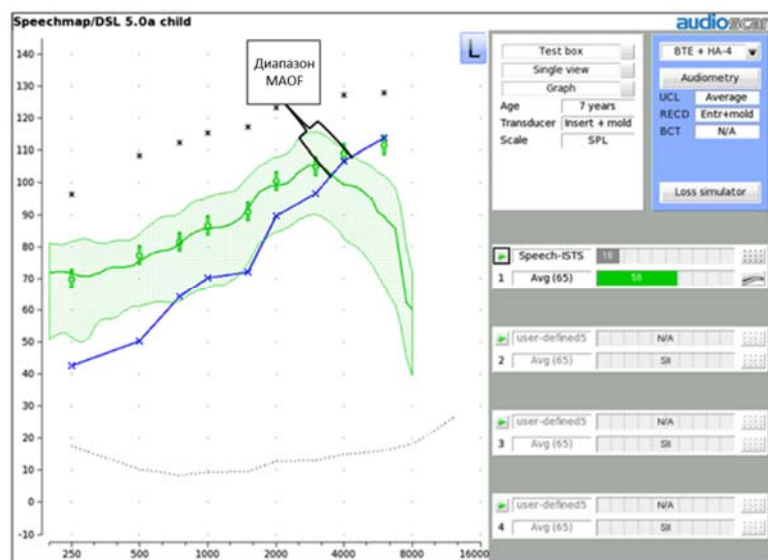


Рис.6: Кривая порогов слышимости, кривая LTASS (со слуховым аппаратом), максимальные и минимальные значения LTASS и диапазон MAOF. Использовался речевой сигнал ISTS уровнем 65 дБ УЗД.

Пример верификации SoundRecover2

На приведенных ниже рисунках показана настройка SoundRecover2 для пользователя с нисходящей высокочастотной тугоухостью. Выходные уровни тихой, средней и громкой речи, а также максимальные выходные уровни (ВУЗДмакс.) настроены в соответствии с целевыми значениями DSL v5.0 (Scollie с соавт., 2005). Использовали заушные слуховые аппараты Phonak Naida V90-SP.

Краткое содержание рекомендуемого протокола верификации:

1. Выполнить настройку и верификацию с выключенным SoundRecover2.
2. Установить необходимость применения SoundRecover2, воспользовавшись стимулом /s/.
3. Активировать SoundRecover2 и завершить точную настройку.

Подробное описание протокола:

- 1) **Настройка в соответствии с целевыми значениями и верификация с выключенным SoundRecover2:** Выполните точную настройку слухового аппарата, стараясь максимально приблизить его амплитудно-частотную характеристику к целевым значениям при выключенном SoundRecover2 (рис. 7).

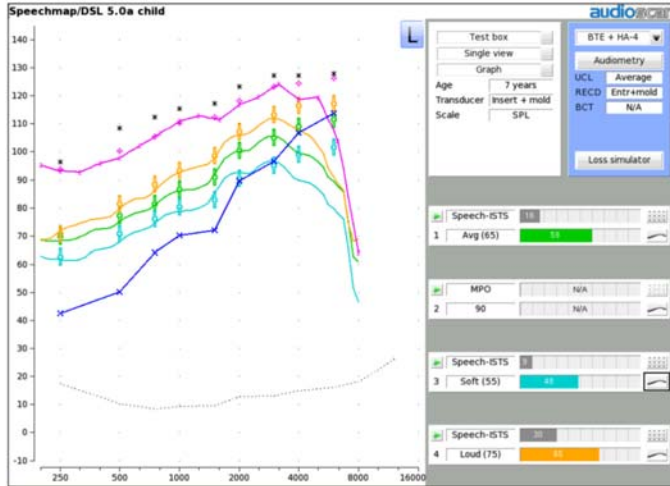


Рис. 7: Верификация слухового аппарата с выключенным SoundRecover2 с использованием стимула ISTS уровнем 55 дБ (голубая кривая), 65 дБ (зеленая кривая) и 75 дБ (оранжевая кривая). Фиолетовая кривая соответствует ВУЗДмакс.

- 2) **Установить необходимость применения частотного понижения:** С выключенным SoundRecover2 зарегистрируйте спектр стимула /с/ (рис. 8), чтобы убедиться, что он, включая верхнее плечо, вмещается в измеренный ранее диапазон MAOF (см. рис. 6). Если спектр /с/ находится вне этого диапазона, перейдите к шагу 3.

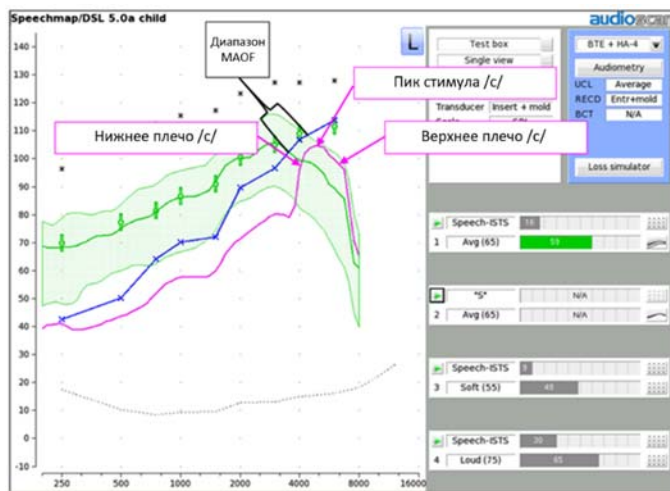


Рис. 8: Выходные уровни сигнала ISTS (зеленая область), пороги слышимости (синяя кривая), стимул /с/ (фиолетовая кривая) и диапазон MAOF. SoundRecover2 отключен. Стимул /с/ не попадает в диапазон MAOF, поэтому данный пациент должен рассматриваться как кандидат на использование SoundRecover2.

- 3) **Точная настройка SoundRecover2:** Включите SoundRecover2 и зарегистрируйте спектр стимула /с/ в исходной настройке. Если /с/ не попадает в диапазон MAOF, воспользуйтесь регулятором "слышимость-различимость", чтобы найти минимальную силу частотного понижения, позволяющую добиться нужной слышимости стимула /с/. Повторно зарегистрируйте спектр стимула /с/. Рекомендуем остановиться на настройке, при которой верхнее плечо /с/ максимально

приближается к верхней границе диапазона MAOF (рис. 9). Совет: не отключайте стимул /с/ в процессе настройки. Желательно отключить функцию NoiseBlock или настроить ее на минимум.

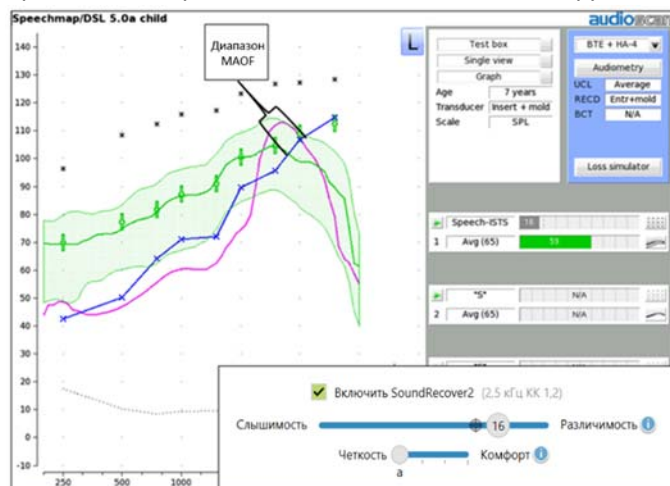


Рис. 9: Верхний регулятор "слышимость-различимость" необходимо установить в положение, при котором пик стимула /с/ попадает в слышимую область, а его верхнее плечо совпадает с верхней границей диапазона MAOF.

Заключение

Согласно приведенному в данной статье протоколу, алгоритм SoundRecover2 следует применять только в тех случаях, когда калиброванный сигнал /с/ не слышен без частотного понижения. Кроме того, подчеркивается, что SoundRecover2 должен быть настроен на минимальное значение, обеспечивающее улучшение слышимости высокочастотных звуков. Предварительно записанные и калиброванные стимулы, применяемые в системах, предназначенных для тестирования слуховых аппаратов, например, Audioscan® Verifit, могут использоваться для определения целесообразности активации частотного понижения и точной настройки его параметров (Scollie с соавт., 2016). Эти стимулы были специально разработаны для описываемой выше процедуры верификации. Такой индивидуальный подход к оптимизации настроек SoundRecover2 учитывает степень тугоухости и характеристики слухового аппарата. В ряде случаев точная настройка SoundRecover2 требует дополнительных шагов. Часть из них рассматривается ниже, в разделе "Часто задаваемые вопросы".

Часто задаваемые вопросы

По завершении шагов 1-3 пользователь слуховых аппаратов жалуется на неестественное звучание гласных звуков. Что можно изменить в настройке SoundRecover2?

Аудиолог может воспользоваться регулятором "четкость-комфорт", чтобы добиться оптимального баланса между слышимостью и естественностью восприятия. По умолчанию регулятор "четкость-комфорт" находится в положении "а". Ниже мы расскажем, как определить, улучшится ли качество звучания гласных звуков при его перемещении в положение "b", "c" или "d". По сравнению с положением "а", положения "b"- "d" последовательно перемещают ГЧ2 в более высокочастотную область, расширяя таким образом частотный диапазон, не затрагиваемый частотной компрессией при преобладании низкочастотных сигналов. Поэтому такая настройка должна улучшить качество звучания, но при слишком высокой частоте ГЧ2 возникает риск снижения эффективности SoundRecover2.

Мы рекомендуем аудиологу прослушивать слуховой аппарат на этом этапе точной настройки. Например, при настройке в тестовой камере можно отслеживать изменения качества звучания с помощью подключенных к камере наушников. При измерениях в реальном ухе можно полагаться на отзывы пациента, одновременно прослушивая слуховой аппарат посредством контрольных наушников. Положение "а" всегда соответствует максимальной слышимости звука /с/, поэтому очень важно повторно регистрировать спектр /с/ при каждом перемещении регулятора "четкость-комфорт", чтобы не пропустить ухудшение слышимости звука /с/.

На рис. 10 приведен пример использования регулятора "четкость-комфорт" для улучшения общего качества звучания гласных звуков. Окончательная настройка основывается на компромиссе между повышением качества звука и слышимостью высокочастотных звуков. Стимул /с/ остается слышимым и находится в пределах диапазона MAOF при перемещении регулятора в положение "b". Кроме того, стимул /с/ регистрировали при всех положениях регулятора "четкость-комфорт". По мере перемещения регулятора в сторону "комфорта" слышимость звука /с/ уменьшается. Поэтому положения "c" и "d" не могут быть рекомендованы в качестве окончательной настройки.

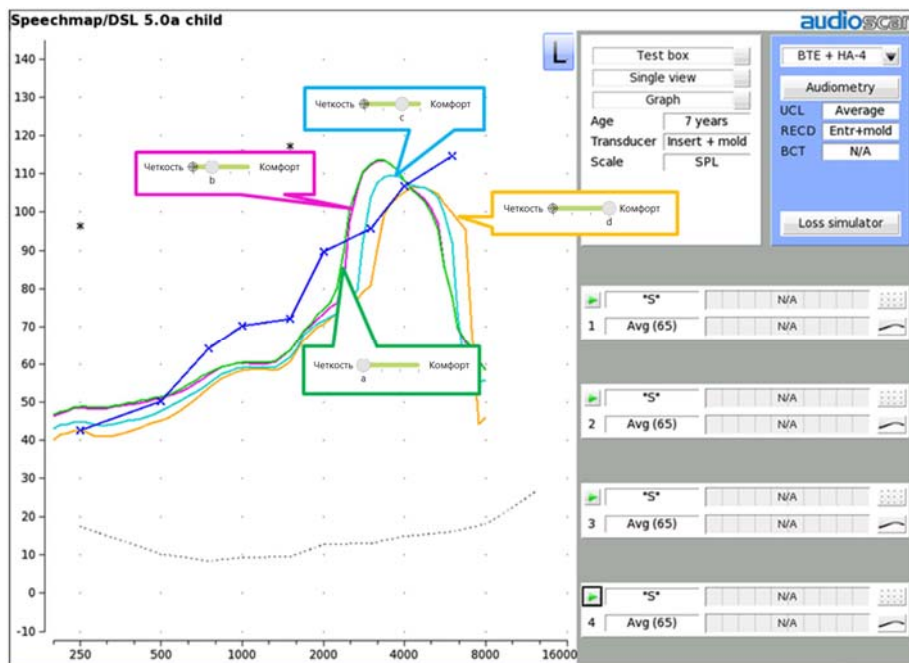


Рис. 10: Регистрация стимула /с/ при включенном SoundRecover2 в разных положениях регулятора "четкость-комфорт": "a" (зеленая кривая), "b" (фиолетовая кривая), "c" (голубая кривая) и "d" (оранжевая кривая).

Как проверить, достаточно ли хорошо в данной настройке различаются звуки /с/ и /ш/?

Этот этап верификации может оказаться полезным при жалобах пользователя на "шепелявость", вызванную чрезмерным частотным понижением. Для оценки разделения /с-ш/ следует зарегистрировать и сравнить спектры звуков /с/ и /ш/ в выбранной настройке SoundRecover2 (рис. 11). Рекомендуется, чтобы точки пересечения нижнего плеча спектров /с/ и /ш/ с пороговой кривой отстояли друг от друга не менее, чем на 1/3 октавы. Если расстояние между ними меньше, нужно воспользоваться точной настройкой SoundRecover2.

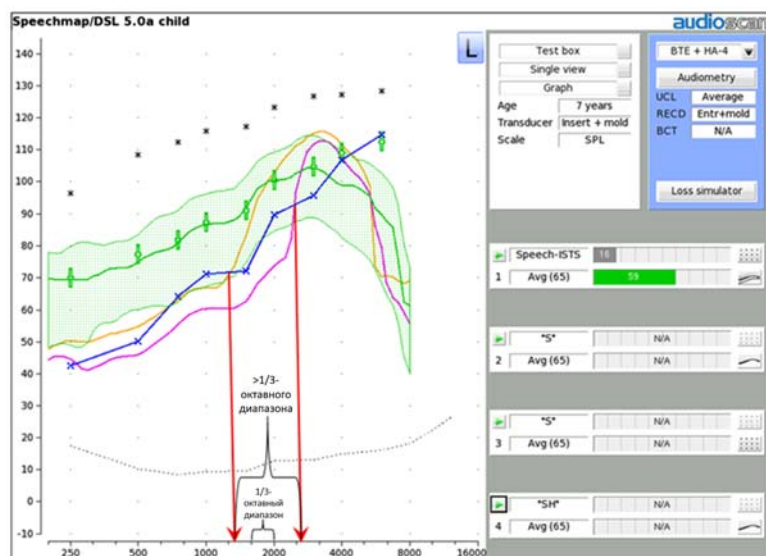


Рис. 11: Измерение разнесения спектров /с/ (фиолетовая кривая) и /ш/ (оранжевая кривая). В качестве точек отсчета использовано пересечение нижнего плеча спектров с пороговой кривой. В данном случае расстояние между ними превышает 1/3 октавы, что считается допустимым. Иными словами, звуки /с/ и /ш/ будут достаточно различаться на слух.

Литература

AAA. 2013. American Academy of Audiology Clinical Practice Guidelines: Pediatric Amplification.

Glista, D., and S. Scollie. (2009) Modified Verification Approaches for Frequency Lowering Devices. In Audiology Online. Vol. November. 1-11.

McCreery, R.W., J. Alexander, M.A. Brennan, B. Hoover, J. Kopun, and P.G. Stelmachowicz. (2014) The influence of audibility on speech recognition with nonlinear frequency compression for children and adults with hearing loss. Ear and Hearing. 35(4):440-447.

Stelmachowicz. (2014) The influence of audibility on speech recognition with nonlinear frequency compression for children and adults with hearing loss. Ear and Hearing. 35(4):440-447.

McCreery, R.W., M.A. Brennan, B. Hoover, J. Kopun, and P.G. Stelmachowicz. (2013) Maximizing audibility and speech recognition with nonlinear frequency compression by estimating audible bandwidth. Ear and Hearing. 34(2):e24-e27.

Rehmann, J., Jha, S. and Allegro Baumann, S. (2016). SoundRecover2 – the first adaptive frequency compression algorithm. Phonak Insight Paper.

Scollie, S., D. Glista, J. Seto, A. Dunn, B. Schuett, M. Hawkins, N. Pourmand, and V. Parsa. (2016) Fitting frequency-lowering signal processing applying the AAA Pediatric Amplification Guideline: Updates and protocols. Journal of the American Academy of Audiology, 27(3):219-236.

Scollie, S., R.C. Seewald, L. Cornelisse, S. Moodie, M. Bagatto, D. Lurnagaray, S. Beaulac, and J. Pumford. (2005) The desired sensation level multistage input/output algorithm. Trends in Amplification. 9(4):159-197.

Авторы



Д-р Danielle Glista – старший научный сотрудник лаборатории детского слухопротезирования Национального центра аудиологии и профессор-исследователь Института изучения коммуникационных расстройств (Канада).



Marianne Hawkins – научный сотрудник и аудиолог лаборатории детского слухопротезирования Национального центра аудиологии (Канада).



Д-р Susan Scollie – директор лаборатории детского слухопротезирования Национального центра аудиологии и доцент Института изучения коммуникационных расстройств (Канада).



Jace Wolfe, PhD – директор по аудиологии фонда Hearts for Hearing и доцент факультета аудиологии Университета Оклахомы и Университета Салус (США).



Andrea Bohnert – старший специалист по функциональной диагностике отделения детской аудиологии и преподаватель логопедии и аудиологии в университетской клинике в Майнце (Германия).



Julia Rehmann – инженер-аудиолог в Sonova AG (Штефа, Швейцария).