

Метод DSL для настройки слуховых аппаратов взрослым и детям: Версия 5

Sheila Moodie, MCISc
Susan Scollie, PhD
Richard Seewald, PhD
Marlene Bagatto, AuD
Steve Beaulac, BESC, BSc

*Национальный центр
аудиологии, Факультет
здравоохранения
Университета Западного
Онтарио (Лондон,
Онтарио, Канада)*

Краткое содержание

Метод Desired Sensation Level (желаемый уровень ощущений, DSL) изначально был разработан как практический инструмент, основанный на систематическом научном подходе к детскому слухопротезированию. Метод был призван обеспечивать слышимость усиленных звуков с учетом всех особенностей слабослышащих и глухих детей (Seewald, Ross, Spiro, 1985; Ross, Seewald, 1988; Seewald, Ross, 1988). В данной статье обобщен ряд изменений, включенных в новую, пятую, версию DSL, в том числе совместимость с данными регистрации стволомозговых слуховых вызванных потенциалов (КСВП), обновленные значения RECD (разность между реальным ухом и куплером), описание многоступенчатого алгоритма входа/выхода, используемого у детей и взрослых, а также учет достижений в области технологии коррекции слуха и методов электроакустической верификации для оценки эффективности слуховых аппаратов, настроенных по формуле DSL v5.

Введение

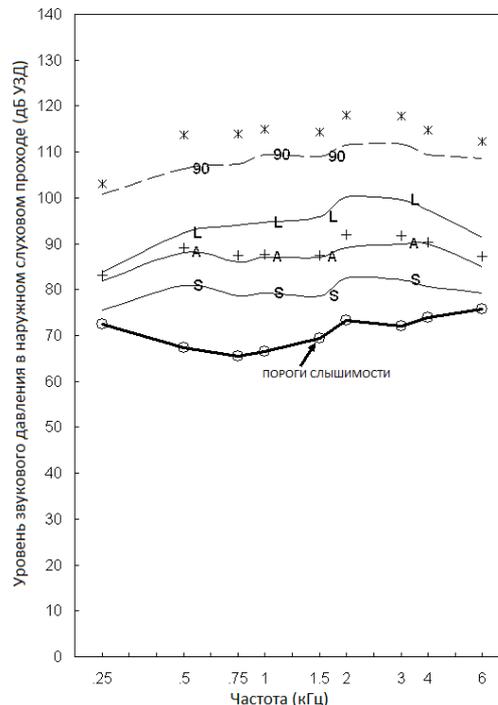
В первых публикациях, посвященных методу DSL, отмечено, что он нацелен на обеспечение амплитудно-частотных характеристик, позволяющих ребенку комфортно и без искажений слышать усиленную речь в максимально возможном частотном диапазоне (Seewald, Ross, Spiro, 1985; Seewald, Stelmachowicz, Ross, 1987; Ross, Seewald, 1988; Seewald, Ross, 1988). В самых ранних версиях метода DSL использовались таблицы, определяющие зависимость целевых уровней ощущения усиленной речи от частоты и порогов слышимости. Эти "желаемые уровни ощущений" основывались на данных, описывающих комфортные уровни ощущения речи при разных порогах слышимости (напр., Kamm, Dirks, Mickey, 1978; Pascoe, 1978), и, что еще важнее, на максимально возможной разборчивости речи у детей с сенсоневральной тугоухостью (напр., Gengel, Pascoe, Shore, 1971; Erber, Witt, 1977; Macrae, 1986; Smith, Boothroyd, 1989). Кроме того, метод DSL рекомендовал целевое ограничение выхода слухового аппарата, также зависевшее от порогов слышимости ребенка на разных частотах (Seewald, 1991; Seewald, Ramji, Sinclair, Moodie, Jamieson, 1993). Эти справочные таблицы и необходимость записывать целевые параметры на бумаге делали использование метода DSL весьма неудобным. В 1991 г. метод DSL (DSL v3.0) стал доступен в виде программного обеспечения. Это была первая компьютерная программа, поддерживающая настройку слуховых аппаратов детям (Seewald, Zelisko, Ramji, Jamieson, 1991).

В 1995 г. Cornelisse, Seewald и Jamieson описали алгоритм электроакустической настройки, получивший название "формула входа/выхода DSL" (DSL[i/o] v4.0) (Cornelisse, Seewald, Jamieson, 1995).

Этот усовершенствованный метод предлагал предписанные целевые значения для настройки слуховых аппаратов с компрессией широкого динамического диапазона, которые стали широко доступными к тому времени. Алгоритм DSL[i/o] использовал данные громкости и нелинейного усиления для сопоставления широкого диапазона входных сигналов с выходными уровнями на разных частотах. Он существовал в виде собственного программного обеспечения DSL® в версиях v4.0 и v4.1, а также был интегрирован в программы настройки слуховых аппаратов разных производителей и в системы, предназначенные для измерений в реальном ухе.

Рис. 1

УЗД-грамма, показывающая результаты настройки слухового аппарата 6-месячному ребенку (дБ УЗД у барабанной перепонки на разных частотах). Остаточный динамический диапазон, в который необходимо уместиться, заключен между порогами слышимости ребенка (кружки) и верхними пределами комфорта (звездочки). Показаны измеренные пороги восприятия речи средней громкости с аппаратом (A) и целевые значения DSL (крестики). Кроме того, показаны измеренные уровни выхода аппарата для тихой (S) и громкой (L) речи, а также измеренный максимальный выходной уровень слухового аппарата для входных сигналов уровнем 90 дБ (90).



Одна из визитных карточек метода DSL – хорошо узнаваемая УЗД-грамма (SPLogram) (рис. 1). Успешность "упаковки" усиленной речи в остаточный динамический диапазон проще всего оценить, если отобразить все пороги относительно дБ УЗД в наружном слуховом проходе. Пример УЗД-граммы ребенка с умеренной тугоухостью в диапазоне 0,25-6 кГц приведен на рис. 1. Остаточный динамический диапазон ограничен порогами слышимости и аппроксимированными порогами дискомфорта, выраженными в дБ УЗД. Показаны также целевые значения для усиленной речи разговорной громкости, измеренные характеристики усиленной тихой, средней и громкой речи и максимальный выход слухового аппарата для входного узкополосного сигнала 90 дБ. Такое отображение позволяет легко сравнить остаточный динамический диапазон ребенка с уровнем усиленной речи и максимальным выходом слухового аппарата.

Метод DSL для детей: Валидационные исследования

Многочисленными исследованиями доказано, что для достижения такой же разборчивости речи, как у взрослых, детям с нормальным или нарушенным слухом необходимы более высокие уровни стимуляции, более высокое отношение сигнал-шум и более широкий частотный диапазон (Elliott, Connors, Kille, Levin, Ball, Katz, 1979; Elliot, Katz, 1980; Nozza, 1987; Nabelek, Robinson, 1982; Neuman, Hochberg, 1982; Nittrouer, Boothroyd, 1990; Nozza, Rossman, Bond, Miller, 1990; Nozza, Miller, Rossman, Bond, 1991; Nozza, Rossman, Bond, 1991; Kortekaas, Stelmachowicz, 2000; Serpanos, Gravel, 2000; Fallon, Trehub, Schneider, 2002). Это может быть обусловлено несколькими факторами, включая созревание слуховой и фонологической систем (Nittrouer, Boothroyd, 1990; Hnath-Chisholm, Laipply, Boothroyd, 1998; Blamey и соавт., 2001; Nittrouer, 2002). Исходя из этого, дальнейшее совершенствование метода DSL и сопутствующих алгоритмов

происходило в соответствии с принципами обеспечения надлежащих уровней слышимости (Scollie, 2005). Цель – точный выбор электроакустических характеристик, обеспечивающих слуховое развитие и обучение детей за счет слышимости речи разговорной громкости во всем частотном диапазоне с сохранением ее контура (напр., Seewald, Ross, 1985; Ling, 1989). В нашей лаборатории выполнено несколько валидационных исследований использования метода DSL v4.0 b v4.1 у детей (Jenstad, Seewald, Cornelisse, Shantz, 1999; Jenstad, Pumford, Seewald, Cornelisse, 2000; Scollie, Seewald, Moodie, Dekok, 2000). В последующих разделах мы вкратце рассмотрим их результаты.

Предпочтительные уровни слушания у детей, пользующихся слуховыми аппаратами: Сравнение с расчетными целевыми значениями

Scollie и соавт. (2000) измерили предпочтительные уровни слышимости (ПУС) у 18 детей (средний возраст ~10 лет) с различными степенями сенсоневральной тугоухости при использовании собственных слуховых аппаратов. Основная задача исследования – установить, совпадает ли уровень усиления речи разговорной громкости с ПУС при настройке слуховых аппаратов по формуле DSL[i/o] v4.1. Вторая задача – сравнить ПУС детей, ранее пользовавшихся аппаратами, настроенными по DSL, с расчетными целевыми значениями, предлагаемыми формулами NAL (Национальные акустические лаборатории) (Byrne, Dillon 1986; Byrne, Parkinson, Newall, 1990; Dillon, Storey, 1998). Согласно полученным результатам, алгоритм DSL[i/o] лучше соответствует ПУС, чем алгоритм NAL-RP/NL1, независимо от степени тугоухости. На рис. 2 представлено сравнение расчетных уровней DSL[i/o] v4.1 (А) и NAL-RP/NL1 (В) с ПУС. Показана также линейная регрессия для каждого алгоритма. Уровни, рекомендуемые формулой DSL,

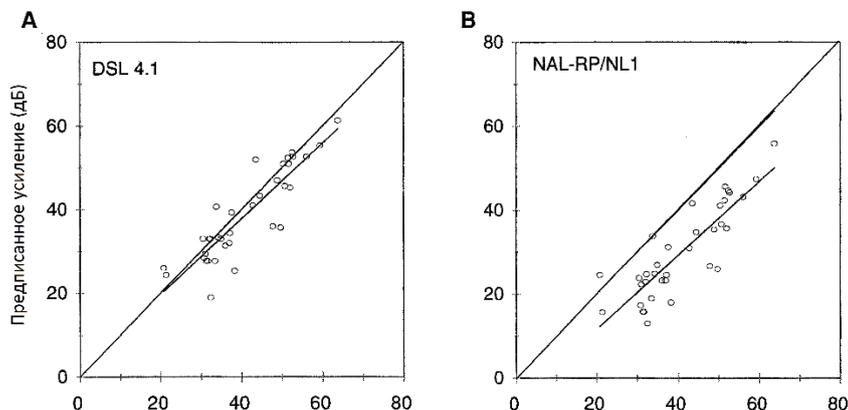
были в среднем на 2 дБ ниже ПУС; при этом около 70% ПУС находились в пределах ± 5 дБ от целевых параметров DSL. Напротив, уровни, предписываемые формулой NAL, были в среднем на 10 дБ ниже ПУС и лишь около 9% ПУС находились в пределах ± 5 дБ от целевых параметров NAL. Это означает, что у детей, ранее пользовавшихся аппаратами, настроенными по DSL, уровни усиления разговорной речи, предписываемые алгоритмом DSL[i/o], ближе соответствуют ПУС, чем целевые уровни NAL-RP/NL1, независимо от степени тугоухости.

Сравнение линейного усиления и компрессии широкого динамического диапазона: Разборчивость речи и ощущение громкости

В конце 1990-х годов было выполнено два исследования (Jenstad и соавт., 1999; 2000), сравнивавших разборчивость речи и ощущение громкости при использовании слуховых аппаратов с линейным усилением и компрессией широкого динамического диапазона (WDRC). В первой работе, посвященной разборчивости речи, приняли участие 12 испытуемых (средний возраст ~16 лет) с умеренно-тяжелой сенсоневральной тугоухостью, пользовавшихся слуховыми аппаратами, настроенными по DSL v4 с применением линейного усиления и WDRC. Разборчивость речи в тишине измеряли трижды: (а) без аппаратов; (б) с линейным усилением; (с) с WDRC. Использовались два варианта тестового материала – бессмысленные слова и фразы. Согласно полученным результатам, у большинства испытуемых эффективность была выше при использовании WDRC, нежели при линейном усилении. Кроме того, слуховые аппараты с WDRC, настроенные по формуле DSL[i/o], обеспечивали комфортность и разборчивое восприятие речи в широком диапазоне уровней входного сигнала. Во втором исследовании, посвященном восприятию громкости, участвовали 10 людей (средний возраст ~16 лет) с умеренно-тяжелой сенсоневральной тугоухостью, аппараты

Рис. 2

Связь усиления, рекомендуемого формулами DSL 4.1 и NAL-RP/NL1 (по вертикали) с предпочтительным субъективным усилением (по горизонтали) в условиях бинаурального прослушивания. Показана также линейная регрессия для каждой формулы настройки (по Scollie, Seewald, Moodie, Dekok, 2000). С разрешения Journal of the American Academy of Audiology.



которых были настроены по формуле DSL v4.0 с линейным усилением и WDRC (Jenstad и соавт., 2000). Пороги слышимости, верхний предел комфорта и функцию нарастания громкости измеряли трижды: (а) без аппаратов; (б) с линейным усилением; (с) с WDRC. В качестве стимулов использовали модулированные тоны, звуки окружающей среды и речь. Согласно результатам исследования, слуховые аппараты с WDRC, настроенные по формуле DSL[i/o], были способны нормализовать восприятие громкости речи и других звуков окружающей среды в широком диапазоне уровней входных сигналов.

Итак, было установлено, что метод DSL и основанный на нем алгоритм расчета целевых параметров: (1) значительно улучшают разборчивость речи у детей; (2) повышают разборчивость тихой речи и нормализуют восприятие громкости в нелинейном режиме работы аппаратов; (3) ближе соответствуют предпочтительным уровням слышимости у детей с различными степенями тугоухости, чем алгоритм NAL-RP/NL1.

Пришло ли время для новой версии метода DSL?

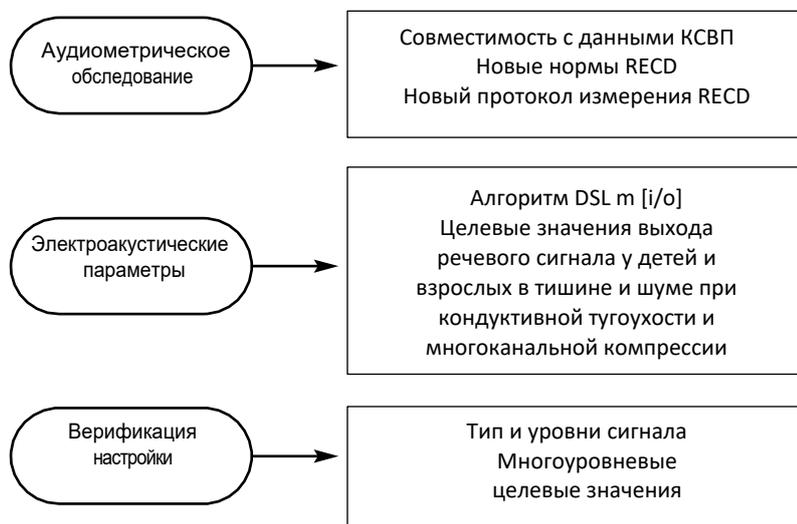
В последние годы ряд факторов заставил нас пересмотреть метод DSL и основанный на нем алгоритм DSL[i/o]. Во-первых, нарушение слуха у детей выявляется сразу же после рождения, и слуховые аппараты назначаются к 6-месячному возрасту (Joint Committee on Infant Hearing, 2000; American Academy of Audiology, 2003). Эти дети будут пользоваться рекомендованными настройками по крайней мере в течение первых лет своей жизни, что повышает требования к объективности и доказательности таких алгоритмов, как DSL. Во-вторых, совершенствование методов диагностики (например, КСВП) и дальнейшее развитие технологий коррекции слуха требуют внесения изменений в существующие алгоритмы предписания целевых параметров звукоусиления. Кроме того, исследования, выполненные в нашей лаборатории,

указывают на возможность и необходимость модификации алгоритмов, рассчитанных на взрослых пользователей (напр., Moore, Alcántara, Marriage, 2001). Наконец, многие специалисты предпочитают пользоваться стандартными предписывающими алгоритмами, а не алгоритмами производителей аппаратов, особенно у детей. Это подтверждается недавно опубликованными результатами исследований, свидетельствующими о том, что формулы производителей аппаратов предписывают различные целевые параметры взрослым пациентам с одинаковой тугоухостью (Smeds, Leijon, 2001; Keidser, Brew, Peck, 2003; Killion, 2004). Поэтому в конце 1990-х годов была начата работа по созданию новой версии DSL (DSL v5), включающей многоступенчатый алгоритм входа/выхода, получивший название DSL m[i/o].

Роль клинических протоколов

В процессе внесения изменений в алгоритм DSL становится очевидным, что предписание электроакустических параметров нельзя рассматривать в отрыве от данных аудиометрического обследования и методов верификации, используемых в ходе настройки. DSL – не просто алгоритм предписания целевых настроек. Это процесс настройки слуховых аппаратов, состоящий из последовательных этапов. Как показано на рис. 3, мы уделяли особое внимание аудиометрическому обследованию, выбору слуховых аппаратов и верификации полученных результатов (Seewald, 1995; Seewald, Moodie, Sinclair,

Рис. 3
Рекомендуемый процесс подбора слуховых аппаратов в соответствии с методом DSL. Показаны изменения, реализованные на каждом этапе в формуле DSL v5.



Cornelisse, 1995). Программа наших исследований включает не только совершенствование алгоритма DSL m[i/o], но и клинические методы и протоколы обследования, верификации и валидации (Seewald и соавт., 1993; Moodie, Seewald, Sinclair, 1994; Seewald, 1995; Bagatto, 2001).

Информация о пересмотрах и изменениях, внесенных в DSL v5, представлена на рисунке 3 для каждого этапа процесса подбора слухового аппарата. В последующих разделах мы рассмотрим эти пересмотры и изменения.

DSL v5: Вопросы диагностики

Совместимость с результатами КСВП
Аудиологи, участвующие в программах раннего выявления нарушений слуха и раннего вмешательства (EHDI), обследуют маленьких детей с применением электрофизиологических методик (American Speech Language and Hearing Association, 2004; Joint Committee on Infant Hearing, 2000). Доказано, что регистрация КСВП позволяет достоверно определять пороги слышимости в раннем возрасте (Stapells, 2000a; 2000b; American Speech Language and Hearing Association, 2004; Joint Committee on Infant Hearing, 2000). При этом основные усилия исследователей направлены на совершенствование методов измерения частотно-специфических (ЧС) порогов КСВП, тогда как практическому применению полученных данных уделяется недостаточное внимание. В DSL v5 специалист может ввести значения порогов в виде нормализованных порогов слышимости (нПС, nHL) или экстраполированных порогов слышимости (эПС, eHL).

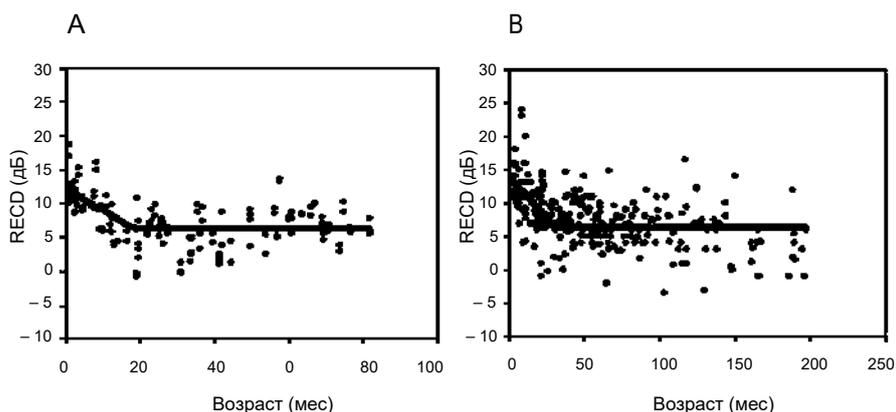
Подробное описание нПС и эПС и их взаимосвязь с электрофизиологическими данными можно найти в работе Bagatto и соавт. (2005). Во многих работах доказано, что пороги КСВП превышают поведенческие пороги. Поэтому для лучшего прогнозирования поведенческих порогов, используемых для расчета параметров работы слухового аппарата, необходимо скорректировать пороги, полученные при регистрации КСВП. Специалист должен знать, применяется ли по умолчанию такая коррекция в том оборудовании, которым он пользуется при регистрации КСВП. Если такая коррекция не выполняется самим устройством, ее необходимо применить к порогам нПС для прогнозирования поведенческих порогов. При этом программное обеспечение DSL самостоятельно переводит пороги, измеренные в нПС, в значения эПС. Эти поправки могут представлять собой значения по умолчанию, хранящиеся в программном обеспечении, или же специалист может ввести свои собственные значения преобразования нПС в эПС. Значения по умолчанию подходят для оборудования, калибровка и параметры стимуляции которого соответствуют требованиям, приведенным в работе Bagatto и соавт. (2005) (см. табл. 1). Если значения порогов уже переведены в эПС, дополнительная коррекция не требуется. В таком случае при вводе данных специалист должен выбрать вариант "эПС" (eHL). Если вы пользуетесь системой для регистрации стационарных слуховых вызванных потенциалов (ASSR), убедитесь, что она преобразует нПС в эПС (Stapells, Herdman, Small, Dimitrijevic, Hatton, 2005). Если это так, вы можете непосредственно вводить полученные пороги в программу, выбрав вариант эПС (eHL).

Табл. 1
 Параметры стимуляции и регистрации, используемые при измерении порогов частотно-специфических КСВП.

Калибровка стимула (ER-3A)	500 Гц: 22 дБ мпЭУЗД 1000 Гц: 25 дБ мпЭУЗД 2000 Гц: 20 дБ мпЭУЗД 4000 Гц: 26 дБ мпЭУЗД
Фильтры	Нижняя граница: 30 Гц Верхняя граница: 1500 Гц 6 или 12 дБ/окт. Аналоговый
Стимулы	2-1-2 циклов, линейно-стрибированные тоны
Длина окна	25 мс
Полярность	Альтернирующая
Частота подачи	37-41 стимул/с
Отклон. артефактов	Если амплитуда превышает 25 мкВ или $\pm 2SD$ от самой спокойной ЭЭГ
Усреднение	2000 реализаций Не менее 2 накоплений

Соответствующие возрасту значения разности между реальным ухом и куплером (RECD)
 RECD – ценный показатель, надежно и достоверно регистрируемый у большинства детей и взрослых (Sinclair и соавт., 1996; Tharpe, Sladen, Huta, McKinley, 2001; Munro, Davis, 2003). Программное обеспечение DSL всегда предлагало соответствующие возрасту средние значения RECD в том случае, если специалисту не удается измерить RECD непосредственно (Seewald и соавт., 1997; Seewald и соавт., 1993). В DSL v5 добавлены следующие возрастные частотно-специфические значения RECD: (1) для стандартных вкладышей; (2) для индивидуальных вкладышей (Bagatto и соавт., 2005; Bagatto, Scollie, Seewald, Moodie, Hoover, 2002). Точность прогнозирования была проверена путем исследования 95% доверительных интервалов значений RECD, спрогнозированных для стандартных и индивидуальных ушных вкладышей (Bagatto и соавт., 2005). Оказалось, что у детей в возрасте 24 месяцев и младше реальные значения RECD для стандартных вкладышей совпадают с прогнозируемыми в пределах от $\pm 5,6$ дБ (500 Гц) до $\pm 10,9$ дБ (6000 Гц). Для индивидуальных вкладышей (дети в возрасте 36 месяцев и младше) этот диапазон варьирует от $\pm 6,7$ дБ (2000 Гц) до $\pm 12,4$ дБ (6000 Гц). На рис. 4 представлены измеренные на одной частоте значения RECD (в дБ) в зависимости от возраста для обоих вариантов вкладышей. Необходимо подчеркнуть, что соответствующие возрасту спрогнозированные значения RECD ни в коем случае не заменяют реально измеренные индивидуальные параметры RECD.

Рис. 4
 Разность между реальным ухом и куплером (RECD) (в дБ), измеренная с губчатым вкладышем (А) и индивидуальным вкладышем (В) на частоте 3000 Гц у детей разного возраста. Наклонная прямая представляет собой линейную регрессию согласно уравнению прогнозирования. Горизонтальная линия – средние значения RECD для данной возрастной группы (по Bagatto и соавт., 2005. *Перепечатано с разрешения авторов*).



Описание модифицированной методики измерения RECD у маленьких детей

В литературе можно найти описание методики измерения RECD у детей (Moodie и соавт., 1994). Имеются также рекомендации по глубине введения трубочки зонда (Tharpe и соавт., 2001). Типичная методика измерения RECD, описанная в большинстве работ, подразумевает раздельное введение трубочки и вкладыша. Это не всегда возможно из-за очень маленьких размеров наружного слухового прохода и положения ребенка во время измерения. Bagatto, Seewald, Scollie и Tharpe (2006) подробно описали новую методику и результаты измерения RECD у маленьких детей. Вкратце, новая стратегия подразумевает одновременное введение трубочки зонда и вкладыша в слуховой проход (см. рис. 5). Согласно полученным результатам, у детей 2-6 месяцев можно получить надежные и достоверные результаты, если трубочка выступает за пределы кончика вкладыша приблизительно на 2-4 мм. Это соответствует глубине введения трубочки примерно на 11 мм от входа в слуховой проход.

DSL v5: Выбор и настройка слуховых аппаратов

Многоступенчатый алгоритм входа/выхода: DSL m[i/o]

Подробное описание обновленного алгоритма DSL m[i/o] можно найти в работе Scollie и соавт. (2005). Здесь мы ограничимся кратким перечнем основных, но не всех, важных изменений.

Необходимость обновления алгоритма DSL[i/o] была обусловлена, по крайней мере, двумя причинами: (1) применение основанных на доказательной базе обновлений, дополнений или поправок к алгоритму DSL[i/o] (Cornelisse и соавт., 1995; Seewald, Ramji, Sinclair, Moodie, Jamieson, 1993a); (2) расширение области применения алгоритма в поддержку тестирования отдельных гипотез в детском слухопротезировании.

Рис. 5

Трубочка зонда, прикрепленная пластиковой пленкой к вкладышу для регистрации отоакустической эмиссии ER-10 (3,5 мм) (по Bagatto и соавт., 2006. *Перепечатано с разрешения авторов*).



К конкретным задачам 5-й версии DSL относятся:

1. Предотвращение дискомфорта при использовании слухового аппарата;
2. Обеспечение максимальной слышимости важной акустической информации, содержащейся в речи разговорной громкости;
3. Поддержка настройки слуховых аппаратов в рамках программ раннего обнаружения нарушений слуха и раннего вмешательства;
4. Предписание компрессии в соответствии со степенью и конфигурацией тугоухости, не ограничивающей доступность широкого диапазона уровней речевого сигнала;
5. Удовлетворение различных потребностей пользователей с врожденной и приобретенной тугоухостью;
6. Адаптация к различиям тихой и шумной окружающей обстановки.

Расчет целевых параметров DSL m[i/o]

В DSL v5 в качестве отправной точки используется алгоритм DSL[i/o] (DSL v4.1), модифицированный применительно к WDRC с меньшим входным диапазоном, частично или полностью захватывающим диапазон речи разговорной громкости. По мере повышения порогов низкоуровневые входные сигналы с меньшей вероятностью вовлекаются в компрессию.

Многоступенчатый алгоритм входа/выхода DSL $m[i/o]$ включает в себя четыре стадии обработки сигнала: (1) экспансия; (2) линейное усиление; (3) компрессия; (4) ограничение выхода. Эти стадии алгоритма $m[i/o]$ отражают традиционный подход к управлению амплитудой выходного сигнала в современных цифровых слуховых аппаратах. Результат представляет собой последовательность функций входа/выхода, определяющих реакцию многоканального слухового аппарата на входные речевые сигналы различного уровня.

Стадия ограничения выхода

DSL версии 5 оперирует тремя переменными, определяющими ограничение выхода: (а) верхняя граница уровня комфорта (ULC) для узкополосных сигналов (ни один из усиленных узкополосных сигналов не должен выходить за ее пределы); (б) целевые значения выхода для узкополосных входных сигналов уровнем 90 дБ УЗД (могут быть чуть ниже верхней границы уровня комфорта, если слуховой аппарат не насыщается при уровне входа 90 дБ); (с) пороги ограничения широкополосного выходного сигнала (BOLT) для каждой из частот (максимальные 1/3-октавные уровни широкополосных сигналов). Эти целевые параметры могут использоваться по-разному, в зависимости от тестовых сигналов и/или осведомленности пользователя о характеристиках обработки сигнала данным слуховым аппаратом. Ниже мы подробнее рассмотрим каждый из упомянутых параметров.

Целевые значения ограничения выхода узкополосных сигналов

DSL v5 предлагает прогнозируемые значения верхних пределов уровня комфорта для узкополосных сигналов (ULC), которые можно заменить индивидуально измеренными ULC. В любом случае задача состоит в том, чтобы уровни усиленных высокоуровневых чистых тонов, модулированных чистых тонов или речевых пиков не превышали ULC. Максимальный прогнозируемый уровень ULC в слуховом проходе ограничен 140 дБ УЗД. DSL v5 может рассчитать целевые значения выхода для узкополосных сигналов уровнем 90 дБ УЗД. Они могут быть чуть ниже

верхних пределов комфорта, если слуховой аппарат не насыщается при уровне узкополосного входа 90 дБ. Верифицируя целевую настройку, специалисты могут воспользоваться одним из двух подходов: (1) добиться соответствия расчетным параметрам для уровня входа 90 дБ; (2) убедиться, что максимальный выход не выходит за пределы ULC.

Целевые значения ограничения выхода широкополосных сигналов

DSL v5 содержит переменный параметр, предписывающий ограничение уровней выхода 1/3-октавных речевых сигналов. Этот порог ограничения широкополосного выходного сигнала (BOLT) соответствует настройке слухового аппарата, при которой речевые пики находятся на 13 дБ ниже верхней границы уровня комфорта. Подробное обоснование BOLT приведено в работе Scollie и соавт., 2005. Клиническая верификация целевых значений BOLT возможна не всегда и зависит от доступных тестовых сигналов и методов анализа. Это – не проблема, если вы добились целевых значений ограничения выхода узкополосных сигналов (см. выше). Однако целевые значения BOLT могут быть полезны при выборе начальной настройки программируемых слуховых аппаратов, включающей управление ограничением выхода широкополосных стимулов. Как правило, это происходит "за кулисами", в программе настройки слуховых аппаратов.

Компрессия

В DSL v5 компрессия должна обеспечивать слышимость и комфортную громкость важных речевых сигналов с учетом пределов усиления слухового аппарата и границ динамического диапазона пользователя. Этот подход отличается от нормализации громкости, использовавшейся в предыдущих версиях алгоритма DSL.

Предписанный порог компрессии (ПК) WDRC

Предписание ПК алгоритмом DSL $m[i/o]$ подчинено задаче обеспечения компрессии в максимальном диапазоне входных речевых сигналов. В частности, при относительно небольшом снижении слуха необходимо добиться восприятия низкоуровневой речи (Jenstad и соавт., 1999; 2000).

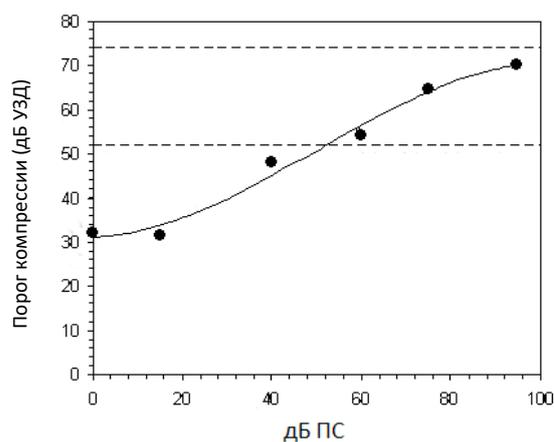
При тяжелой/глубокой тугоухости задача меняется – теперь WDRC призвана контролировать громкость высокоуровневых речевых сигналов. Необходима экспериментальная валидация этого гипотетического аспекта DSL v5. Поэтому в программном обеспечении производителей слуховых аппаратов могут использоваться собственные значения ПК, если удается добиться большего усиления без обратной связи. На рис. 6 представлена взаимосвязь порогов слышимости (дБ ПС), входных уровней (дБ УЗД в свободном поле) и порогов WDRC, предлагаемых алгоритмом DSLm[i/o].

Предписываемые параметры настройки слухового аппарата с многоканальной компрессией

Расчет целевых параметров DSLm[i/o] может быть адаптирован к структуре каналов многоканальных слуховых аппаратов (Scollie и соавт., 2005). 1/3-октавные частотные полосы объединяются в определенные группы каналов в соответствии с границами разделения каналов слухового аппарата. После этого в каждом канале применяется многоступенчатый алгоритм входа/выхода, рассчитывающий единый целевой коэффициент компрессии для каждого канала. Кроме того, усиление в каждой области компрессии настраивается так, чтобы сохранить частотную характеристику сигналов среднего уровня. При этом может происходить незначительная частотная трансформация, предотвращающая изменение амплитудно-частотной характеристики речевых сигналов среднего уровня. Целевые параметры усиления сигналов среднего уровня почти не зависят от разделения на каналы, в отличие от целевых параметров усиления сигналов очень высокого и очень низкого уровня.

Рис. 6

Зависимость порогов компрессии широкого динамического диапазона (WDRC) от порогов слышимости (дБ ПС) и уровней входного сигнала (дБ УЗД в свободном поле). Сплошная линия представляет собой полином третьего порядка, соответствующий набору гипотетических значений порога компрессии (●). Пунктирные линии соответствуют диапазону входного речевого сигнала, учитываемому DSL v5 (напр., 52 и 74 дБ УЗД) (по Scollie и соавт., 2005. *Перепечатано с разрешения авторов*).

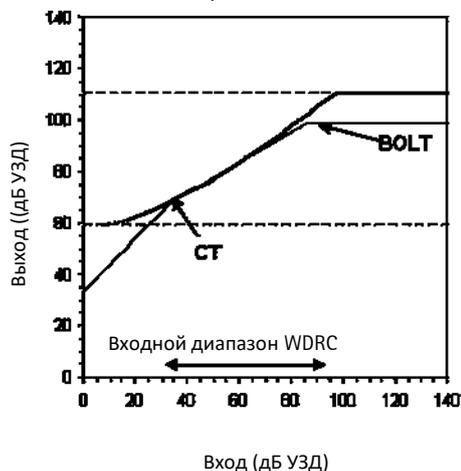


Предписание усиления на этапе WDRC

Предписание усиления на этапе WDRC должно выполняться с учетом диапазона входных сигналов, усиление которого признано целесообразным, области остаточного слуха пациента и используемой технологии звукоусиления. В отличие от алгоритма DSL[i/o], алгоритм DSL m[i/o] варьирует величину диапазона подвергаемых компрессии входных сигналов в пределах от 30 до 70 дБ УЗД (в зависимости от степени тугоухости). Во всех 1/3-октавных частотных полосах рассчитывается целевое значение для входного речевого сигнала 60 дБ УЗД. Затем WDRC представляется в виде прямой линии, проходящей через целевую точку DSL m[i/o], наклон которой соответствует целевому коэффициенту компрессии. Если тугоухость превышает 70 дБ ПС, алгоритм DSL m[i/o] использует более высокий ПК. Некоторые производители слуховых аппаратов предпочитают пользоваться более низкими ПК (т.е. бóльшим усилением низкоуровневых звуков).

Рис. 7

Сравнение целевых функций входа/выхода DSL[i/o] и DSL m[i/o] (жирная и тонкая линии, соответственно). Пунктирными линиями обозначены пороги слышимости и верхние пределы комфорта. Отмечен также входной диапазон WDRC. BOLT = порог ограничения широкополосного выходного сигнала; CT = порог компрессии; WDRC = компрессия широкого динамического диапазона (по Scollie и соавт., 2005. *Перепечатано с разрешения авторов*).



Этап WDRC начинается на уровне расчетного ПК и завершается при переходе в этап ограничения выхода широкополосного сигнала. На рис. 7 представлено сравнение целевых функций входа/выхода алгоритмов DSL m[i/o] и DSL[i/o].

Предписание усиления на этапах экспансии и линейного усиления

Расчетный порог экспансии (ПЭ), предписываемый алгоритмом DSL m[i/o], приблизительно на 10 дБ ниже уровня тихой речи. Предполагается, что входные сигналы более низкого уровня представляют собой фоновый шум, усилить который нежелательно. Линейная область алгоритма DSL m[i/o] располагается между ПЭ и ПК WDRC.

Эффективный коэффициент компрессии алгоритма DSL m[i/o]

Эффективный коэффициент компрессии, рассчитываемый алгоритмом DSL m[i/o], предназначен для функционального описания долгосрочной средней величины компрессии входных речевых сигналов различной громкости. Он не может

рассматриваться как электроакустический дескриптор для верификации или же как традиционный коэффициент компрессии.

Алгоритм DSL m[i/o]: практические соображения

Должен ли алгоритм DSL генерировать разные целевые предписания для детей и взрослых?

Опубликованные результаты использования DSL[i/o] у взрослых слегка противоречивы: в некоторых исследованиях получены положительные и приемлемые результаты (Humes, 1999; Hornsby, Ricketts, 2003; Scollie и соавт., 2005), тогда как в других получена хорошая разборчивость речи, но более высокая, чем нужно, субъективная громкость высокоуровневых и/или высокочастотных входных сигналов (Lindley, Palmer, 1997; Alcántara, Moore, Marriage, 2004; Smeds, 2004).

Результаты клинических исследований, сравнивающих DSL[i/o] с альтернативными методами настройки аппаратов, как правило, свидетельствуют о том, что взрослые предпочитают меньшее усиление, чем предписываемое DSL (Moore, Alcántara, Marriage, 2001). Аналогичные результаты получены и при настройке аппаратов по пожеланиям пользователей (Lindley, Palmer, 1997).

В настоящее время нет единого мнения о необходимости электроакустических различий между настройкой слуховых аппаратов у детей и взрослых. Некоторые исследователи считают, что методы расчета целевых параметров, созданные для взрослых, могут использоваться у маленьких детей (Ching, Dillon, Byrne, 2001). Другие убеждены, что дети нуждаются в отличающихся от взрослых методах расчета исходных настроек (напр., Stelmachowicz, 1991; 2000; Seewald, 1995). Snik и Hombergen (1993) измеряли предпочтительное вносимое усиление у 40 взрослых и 60 детей. На рис. 8

представлена зависимость предпочтительного вносимого усиления от средних тональных порогов слышимости взрослых и детей, участвовавших в этом исследовании. Согласно полученным результатам, среднее вносимое усиление у взрослых было на 7 дБ ниже, чем у детей.

Предпочтительные уровни прослушивания у взрослых и детей

В недавнем исследовании Lurnagaray и Seewald (см. Scollie и соавт., 2005) приняли участие 24 ребенка, постоянно пользующихся слуховыми аппаратами, 24 опытных взрослых пользователя и 24 взрослых, недавно начавших пользоваться аппаратами. Аппараты настраивали по формуле DSL v4.1, а новичкам давали 15-20 дней на привыкание. Целью исследования было обнаружение различий между предпочтительными уровнями слышимости (ПУС) у взрослых и детей, а также у опытных взрослых пользователей и новичков. Вторая задача заключалась в сравнении измеренных ПУС с рекомендуемыми уровнями слышимости (РУС) в соответствии с формулой DSL v4.1. Как следует из рис. 9, все три группы отличались друг от друга с точки зрения разности ПУС и РУС. У детей ПУС были в среднем на 2 дБ ниже расчетных значений (РУС) DSL. У опытных взрослых средние ПУС были на 9 дБ ниже целевых значений DSL. Самые низкие значения ПУС (на 11 дБ ниже целевых) были у недавних взрослых пользователей аппаратов. Таким образом, среднее различие между ПУС взрослых и детей в данной работе достигало 8 дБ, а недавние взрослые пользователи слуховых аппаратов предпочитали несколько меньшие уровни слышимости по сравнению с опытными взрослыми пользователями. Эти данные согласуются с результатами Snik и Hombergen (1993), обнаружившими различие между ПУС взрослых и детей, равное 7 дБ.

Результаты этого исследования указывают на вероятную переоценку алгоритмом DSL[i/o] предпочтительных уровней слышимости у взрослых пользователей, особенно у новичков. Этот вывод может не распространяться на взрослых с

Рис. 8
Зависимость предпочтительного вносимого усиления от средних тональных порогов у взрослых (А) и детей (В) в работе Snik и Hombergen (1993). IGA = вносимое усиление (дБ).

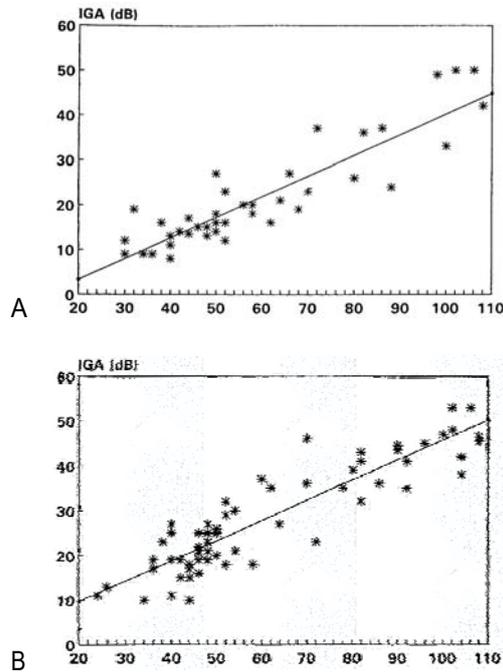
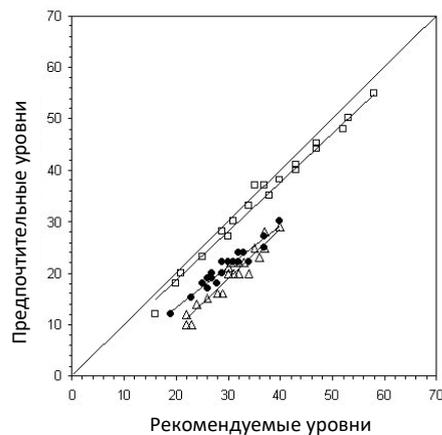


Рис. 9
Сравнение рекомендуемых и предпочтительных уровней слышимости (измерение в куплере объемом 2 см³ на частоте 2000 Гц) в трех группах испытуемых: дети (□), недавние взрослые пользователи слуховых аппаратов (△) и опытные взрослые пользователи (●). Показаны регрессионные линии для каждой группы, а также диагональ, соответствующая целевым уровням слышимости (по Scollie и соавт., 2005. Перепечатано с разрешения авторов).



тяжелой/глубокой тугоухостью, т.к. они не участвовали в исследовании. Тем не менее, очевидно, что предпочтительные уровни слышимости у взрослых и детей существенно различаются. Это согласуется с ранними работами, посвященными различиям уровней прослушивания, необходимым взрослым и детям для распознавания речи (см. выше). При обсуждении изменений в алгоритме DSL[i/o] было решено, что для целостного подхода к целевым расчетам необходимо учитывать, что взрослые и дети не только требуют, но и предпочитают разные уровни прослушивания. Для этого следует создавать различные целевые предписания в зависимости от возраста клиентов.

Определение приемлемого диапазона усиления речи у взрослых пользователей слуховых аппаратов

Было предпринято исследование, направленное на изучение приемлемого диапазона усиления разговорной речи у взрослых (Jenstad и соавт., направлено в печать). Перед авторами стояли две задачи: (1) установить оптимальный диапазон настройки слуховых аппаратов на высоких и низких частотах, исходя из показателей разборчивости речи, а также субъективной оценки громкости и качества звучания; (2) определить, укладывается ли амплитудно-частотная характеристика, предписываемая формулой DSL[i/o] 4.1, в оптимальный диапазон взрослых пользователей. Показатели громкости, качества и разборчивости речи были получены у 23 взрослых с малой / умеренно-тяжелой сенсоневральной тугоухостью. Данное исследование подтвердило результаты других авторов (напр., Dirks, Ahlstrom, Noffsinger, 1993), свидетельствующие о том, что диапазон оптимальных настроек слуховых аппаратов, отвечающий критериям разборчивости и громкости, достигает у взрослых пользователей приблизительно 10 дБ. Конкретнее, на низких частотах диапазон оптимальной настройки слухового аппарата простирается примерно от +2 дБ до -7 дБ относительно

целевого значения DSL[i/o], а на высоких частотах – от -3,2 дБ до -13,2 дБ относительно предписания DSL[i/o].

Изменения, внесенные в алгоритм DSL v5 для взрослых пользователей слуховых аппаратов

Алгоритм DSL[i/o], описанный Cornelisse и соавт. (1995) и использовавшийся в методе DSL v4.1, пытался предписать идеальный уровень усиленного выходного сигнала для разных уровней входных сигналов. Алгоритм DSL[i/o] использовал нелинейное масштабирование, чтобы уровни входа, соответствующие акустическому динамическому диапазону при нормальной функции громкости, умещались в диапазон громкости, наблюдающийся при нарушениях слуха, с сохранением нормального частотного распределения громкости (Cornelisse и соавт., 1995). Алгоритм DSL[i/o] включал очень большой этап компрессии, начинавшийся при 0 дБ ПС. Мы предположили, что результирующее усиление речевых сигналов низкого и среднего уровней приводило к большому уровню громкости, чем необходимо взрослым пользователям слуховых аппаратов.

В алгоритме многоступенчатого входа выхода (DSL m[i/o]), используемом в DSL v5, по ряду причин не применяется принцип нормализации громкости. Во-первых, существующие модели громкости не объясняют упомянутые ранее различия между взрослыми и детьми. Во-вторых, нормализация громкости подразумевает слышимость и нормальную громкость всех звуков. Маловероятно, чтобы эта задача была применима к низкоуровневому фоновому шуму или собственному уровню шума большинства слуховых аппаратов. Создавая алгоритм DSL m[i/o], мы использовали компрессию, призванную обеспечить слышимость и комфортный уровень громкости важных речевых сигналов, с учетом общих технологических ограничений и величины индивидуального динамического диапазона конкретного пользователя. Как уже было отмечено,

этап компрессии распространяется на максимально доступный диапазон разговорной речи. Для начала входной диапазон DSL $m[i/o]$ у взрослых пользователей с приобретенной тугоухостью был ограничен снизу 20 дБ ПС. По сравнению с 0 дБ ПС, использовавшимся в DSL $[i/o]$, такой подход обеспечивает меньшие значения предписываемого усиления и коэффициента компрессии для всей функции входа/выхода. На рис. 10 представлены различия между предписанными формулой DSL v5 значениями выхода у детей и взрослых. Чем выше степень тугоухости, тем меньше различие между взрослым и педиатрическим вариантами, потому что у взрослых и детей с тяжелой/глубокой тугоухостью важно добиться слышимости речи. Несмотря на необходимость дальнейшего экспериментального изучения возрастных поправок, нынешний подход хорошо согласуется с описанными выше различиями усиления, предпочитаемого взрослыми и детьми.

Параметры звукоусиления при кондуктивной тугоухости

Пользователи с кондуктивной или смешанной тугоухостью обладают более высокими уровнями дискомфорта и предпочитают большее усиление по сравнению с людьми с чистой сенсоневральной тугоухостью (Berger, 1980; Walker, 1997a; Walker, 1997b; Carlin, Browning, 1990; Liu, Chen, 2000). В литературе можно найти несколько стратегий, учитывающих эти особенности (Dillon, Storey, 1998; Walker, 1998; Walker 1997a; Carlin, Browning, 1990). Стратегия, используемая в DSL v5 для коррекции кондуктивной тугоухости, заключается в повышении прогнозируемого уровня максимального комфорта (ULC). В результате функция входа/выхода становится более крутой и более линейной, что соответствует большему усилению. Мы ввели несколько ограничений в данную стратегию. Во-первых, целевые значения выхода для DSL v5 не превышают 140 дБ УЗД в слуховом проходе, независимо от типа усиления и наличия кондуктивной тугоухости. Во-вторых, прогнозируемые верхние пределы уровня комфорта (ULC)

Рис. 10

Зависимость средних целевых критериев выхода в реальном ухе от средних тональных порогов (по 4 частотам) согласно формуле DSL v5. Показаны параметры, предписываемые педиатрическим и взрослым вариантами формулы (по Scollie и соавт., 2005. *Перепечатано с разрешения авторов*).

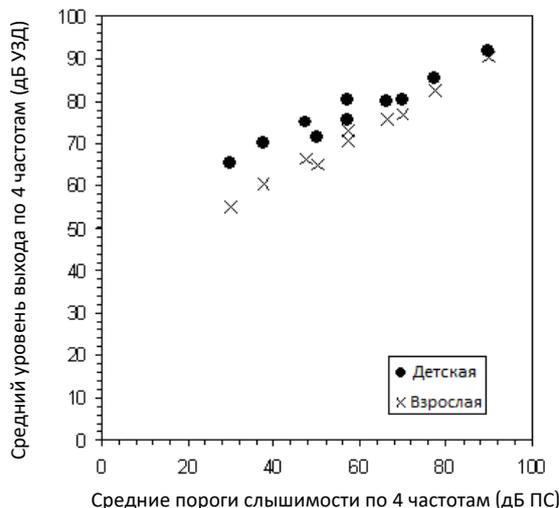
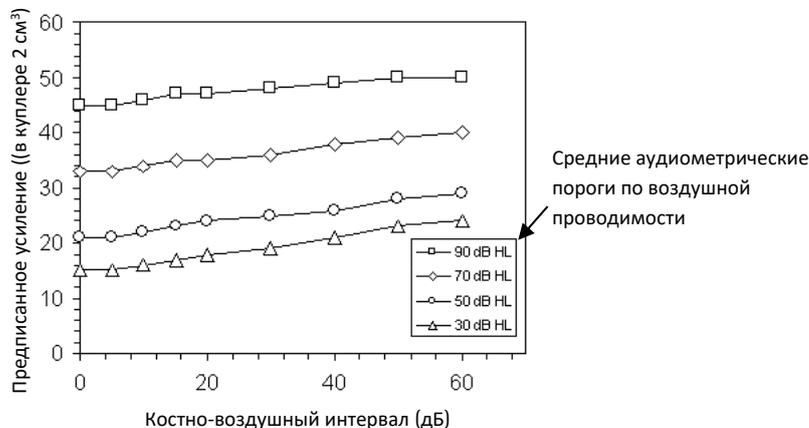


Рис. 11

Результат применения кондуктивной поправки к предписанному усилению разговорной речи. Показано усиление в куплере объемом 2 см³ (среднее по 4 частотам) для 4 степеней плоской сенсоневральной и кондуктивной тугоухости с разной величиной костно-воздушного интервала (по Scollie и соавт., 2005. *Перепечатано с разрешения авторов*).



при кондуктивной тугоухости повышаются на 25% величины костно-воздушного интервала, усредненной по 4 частотам (500, 1000, 2000 и 4000 Гц); максимальная величина костно-воздушного интервала ограничена 60 дБ. Чем выше степень тугоухости, тем меньше коррекция кондуктивного компонента (в частности, из-за того, что выход не может превышать 140 дБ). На рис. 11 представлено применение кондуктивной поправки к предписанному усилению речи разговорной громкости.

Корректировка для вента

Используемая в DSL v5 корректировка для вента основана на данных Dillon (2001) с небольшими изменениями, учитывающими потери звукового давления через вент и прямое поступление звука через вент (Hoover, Stelmachowicz, Lewis, 2000). Установлен нижний предел потери звукового давления (в единицах УЗД реального уха), основанный на входном уровне тестового сигнала и возрастных нормативах усиления открытого уха. Эти поправки применяются только для преобразования параметров при измерении в куплере объемом 2 см³ и не сказываются на целевых параметрах реального уха (REAR, REAG, REIG). Производители слуховых аппаратов могут использовать собственные поправки вместо корректировки, предписываемой формулой DSL v5.

DSL v5: Варианты верификации

Для оценки целевых параметров, предписываемых алгоритмом DSL m[i/o], лучше всего пользоваться УЗД-граммой (см. рис. 1), сравнивая характеристики слухового аппарата в реальном ухе (REAR) с целевыми значениями ограничения выхода узкополосных сигналов и/или верхними пределами комфорта. Для этого используются измерения в реальном ухе. Целевые предписания DSL m[i/o] можно также рассчитать для усиления в реальном ухе с аппаратом (REAG) и вносимого усиления в реальном ухе (REIG). При расчете целевых значений REIG с использованием алгоритма DSL m[i/o] используются средневозрастные или измеренные величины естественного усиления реального уха (REUG) (Bagatto и соавт., 2005). Целевые значения усиления в куплере объемом 2 см³ можно рассчитать автоматически, используя значения REAR

и RESR, по следующей общей формуле:

Целевые значения в реальном ухе (дБ УЗД в слуховом проходе) – RECD – MLE – Входной речевой сигнал = Целевое усиление в куплере 2 см³

Использовать целевые значения усиления для куплера можно в тех случаях, когда измерения в реальном ухе невыполнимы, например, у маленьких детей. При верификации в куплере можно воспользоваться уравнением, обратным приведенному выше (Moodie и соавт., 1994):

Целевое усиление в куплере 2 см³ + Входной речевой сигнал + Эффект расположения микрофона (MLE) + RECD = Рассчитанная характеристика в реальном ухе с аппаратом (дБ УЗД в слуховом проходе).

Целевые значения, предписанные алгоритмом DSL m[i/o], можно сравнивать с долгосрочным усредненным спектром усиленного речевого сигнала, измеренным в 1/3-октавных полосах. Такое измерение можно выполнить для тихой (50-55 дБ УЗД), разговорной (60-70 дБ УЗД) и громкой (75-85 дБ УЗД) речи. При верификации расчетных параметров DSL v5 настоятельно рекомендуется использовать речевые сигналы. Целевые параметры можно преобразовать для верификации с применением взвешенного речевого шума и чистых тонов. Недостаток поправок, применяемых к неречевым сигналам, заключается в меньшей точности результатов и ограниченности входного диапазона (от 50 до 70 дБ УЗД) (Bagatto и соавт., 2005; Scollie, Seewald, 2002).

Заключение

В настоящей статье описаны результаты исследований и разработок, связанных с созданием новейшей версии метода DSL для подбора и настройки слуховых аппаратов детям и взрослым – DSL m[i/o] v5. Несмотря на продолжающуюся в XXI веке модификацию алгоритма DSL, основные задачи и цели остались неизменными (Seewald и соавт., 1985; Seewald и соавт., 1987; Ross, Seewald, 1988; Seewald, Ross, 1988). Мы по-прежнему считаем, что настройка слухового аппарата представляет собой интегрированную последовательность определенных этапов – аудиометрическое обследование, выбор слухового аппарата, верификация и оценка эффективности коррекции слуха.

Благодарность

Настоящая работа выполнена при поддержке Исследовательского совета Канады (CRC), Консорциума реабилитационных технологий Онтарио (ORTC), Исследовательского объединения языка и грамотности Канады (CLLRnet), Фонда Help-2-Hear Онтарио и Отдела по связям с промышленностью Университета Западного Онтарио. Дополнительная поддержка непрерывного развития метода DSL обеспечивается производителями слуховых аппаратов и оборудования для измерений в реальном ухе, приобретающими динамическую библиотеку DSL. Мы глубоко признательны Leonard Cornelisse, Shane Moodie, John Pumford, Lorraine Jenstad и Diana Lournagaray за вклад в создание и развитие DSL v5.

Литература

- Alcántara, J.I., Moore, B.C., and Marriage, J. (2004). Comparison of three procedures for initial fitting of compression hearing aids. II. Experienced users, fitted unilaterally. *International Journal of Audiology*, 43, 3-14.
- American Academy of Audiology (2003). Pediatric amplification protocol. Retrieved 2/15/2007 from <http://www.audiology.org> [On-line].
- American Speech Language and Hearing Association (2004). Guidelines for the audiologic assessment of children from birth to 5 years of age. <http://www.asha.org/members/deskref/journal/deskref/default> [On-line].
- Bagatto, M.P. (2001). Optimizing your RECD measurements. *The Hearing Journal*, 52(32), 34-36.
- Bagatto, M., Moodie, S., Scollie, S., Seewald, R., Moodie, K., Pumford, J., and Liu, R. (2005). Clinical protocols for hearing instrument fitting in the Desired Sensation Level Method. *Trends in Amplification*, 9(4): 199-226.
- Bagatto, M.P., Scollie, S.D., Seewald, R.C., Moodie, K.S., and Hoover, B.M. (2002). Real-ear-to-coupler difference predictions as a function of age for two coupling procedures. *Journal of the American Academy of Audiology*, 13, 407-415.
- Bagatto, M.P. Seewald, R.C., Scollie, S.D., and Tharpe, A.M. (2006). Evaluation of a probe-tube insertion technique for measuring the real-ear-to-coupler difference (RECD) in young infants. *Journal of the American Academy of Audiology*, 17(8):573-81, 619-20.
- Berger, K.W. (1980). Gain requirements of conductive hearing losses. *British Journal of Audiology*, 14, 137-141.
- Blamey, P.J., Sarant, J.Z., Paatsch, L.E., Barry, J.G., Bow, C.P., Wales, R.J., Wright, M., Psarros, C., and Rattigan, K. (2001). Relationships among speech perception, production, language, hearing loss, and age in children with impaired hearing. *Journal of Speech Language & Hearing Research*, 44, 264-285.
- Byrne, D., and Dillon, H. (1986). The National Acoustic Laboratories' (NAL) new procedure for selecting the gain and frequency response of a hearing aid. *Ear and Hearing*, 7(4):254-265.
- Byrne, D., Parkinson, A., and Newall, P. (1990). Hearing aid gain and frequency response requirements for the severely/profoundly hearing impaired. *Ear and Hearing*, 11(1):40-49.
- Carlin, W.V., and Browning, G.G. (1990). Hearing disability and hearing aid benefit related to type of hearing impairment. *Clinical Otolaryngology and Allied Sciences*, 15, 53-57.
- Ching, T.Y., Dillon, H., and Byrne, D. (2001). Children's amplification needs--same or different from adults? *Scandinavian Audiology, Supplementum.*, 54-60.
- Cornelisse, L.E., Seewald R.C., and Jamieson, D.G. (1995). The input/output (i/o) formula: A theoretical approach to the fitting of personal amplification devices. *Journal of the Acoustical Society of America*, 97, 1854-1864.
- Dillon, H. (2001). *Hearing aids*. New York: Thieme.
- Dillon, H. and Storey, L. (1998). The National Acoustic Laboratories' Procedure for Selecting the Saturation Sound Pressure Level of Hearing Aids: Theoretical Derivation. *Ear and Hearing*, 19, 255-266.
- Dirks, D.D., Ahlstrom, J., and Noffsinger, P.D. (1993). Preferred frequency response for two- and three-channel amplification systems. *Journal of Rehabilitation Research*, 30(3): 305-317.

- Elliot, L.L., Connors, S., Kille, E., Levin, S., Ball, K., and Katz, D. (1979). Children's understanding of monosyllabic nouns in quiet and in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 66, 12-21.
- Elliot, L.L., and Katz, D. (1980). Children's pure tone detection. *Journal of the Acoustical Society of America*, 67, 343-344.
- Erber, N.P., and Witt, L.H. (1977). Effects of stimulus intensity on speech perception by deaf children. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 42, 271-278.
- Fallon, M., Trehub, S.E., and Schneider, B.A. (2002). Children's use of semantic cues in degraded listening environment. *Journal of the Acoustical Society of America*, 111, 2242-2249.
- Gengel, R.W., Pascoe, D., and Shore, I. (1971). A frequency-response procedure for evaluating and selecting hearing aids for severely hearing-impaired children. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 36, 341-353.
- Hnath-Chisolm, T.E., Laipply, E., and Boothroyd, A. (1998). Age-related changes on a children's test of sensory-level speech perception capacity. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 41, 94-106.
- Hoover, B.M., Stelmachowicz, P.G., and Lewis, D. E. (2000). Effect of earmold fit on predicted real ear SPL using a real ear to coupler difference procedure. *Ear and Hearing*, 21, 310-317.
- Hornsby, B.W., and Ricketts, T.A. (2003). The effects of hearing loss on the contribution of high- and low-frequency speech information to speech understanding. *Journal of the Acoustical Society of America*, 113, 1706-1717.
- Humes, L.E. (1999). Dimensions of hearing aid outcome. *Journal of the American Academy of Audiology*, 10, 26-39.
- Jenstad, L.M., Bagatto, M.P., Seewald, R.C., Scollie, S.D., Cornelisse, L.E., and Scicluna, R (resubmitted January 15, 2006). Multidimensional Definition of an Optimal Range for Amplified Speech. *Ear and Hearing*.
- Jenstad, L.M., Pumford, J., Seewald, R.C., and Cornelisse, L.E. (2000) Comparison of linear gain and wide-dynamic-range compression (WDRC) hearing aid circuits II: Aided loudness measures. *Ear and Hearing*, 21(2): 32-44.
- Jenstad, L.M., Seewald, R.C., Cornelisse, L.E., and Shantz, J. (1999) Comparison of linear gain and wide-dynamic-range compression hearing aid circuits: Aided speech perception measures. *Ear and Hearing*, 20(2): 117-126.
- Joint Committee on Infant Hearing. (2000). Year 2000 position statement: Principles and guidelines for early hearing detection and intervention programs Joint Committee on Infant Hearing. *Pediatrics*, 106, 798-817.
- Kamm, C., Dirks, D.D., and Mickey, M.R. (1978). Effect of sensorineural hearing loss on loudness discomfort level and most comfortable loudness judgments. *Journal of Speech and Hearing Research*, 21, 668-681.
- Keidser, G., Brew, C., and Peck, A. (2003). How proprietary fitting algorithms compare to each other and to some generic algorithms. *The Hearing Journal*, 56(3): 28-38.
- Killion, M.C. (2004). Myths about hearing aid benefit and satisfaction: In search of the missing link: Benefaction. *The Hearing Review*, August, pgs. 14, 16, 18-20, 66.
- Kortekaas, R.W., and Stelmachowicz, P.G. (2000). Bandwidth effects on children's perception of the inflectional morpheme /s/: Acoustical measurements, auditory detection, and clarity rating. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 43, 645-660.

- Lindley, G., and Palmer, C. (1997). Fitting wide dynamic range compression hearing aids: DSL[i/o], the IHAFF protocol, and FIG6. *American Journal of Audiology*, 6, 19-28.
- Ling, D. (1989). *Foundations of Spoken Language for Hearing Impaired Children*. Washington, D.C.: The Alexander Graham Bell Association for the Deaf.
- Liu, T.C. and Chen, Y.S. (2000). Loudness discomfort levels in patients with conductive and mixed hearing loss. *Auris Nasus Larynx*, 27, 101-104.
- Macrae, J. (1986). Relationships between the hearing threshold levels and aided speech discrimination of severely and profoundly deaf children (Rep. No. NAL Report No. 107). Canberra: Australian Government Publishing Service.
- Moodie, K.S., Seewald R.C., and Sinclair, S.T. (1994). Procedure for predicting real-ear hearing aid performance in young children. *American Journal of Audiology*, 3, 23-31.
- Moore, B.C.J., Alcántara, J.I., and Marriage, J.E. (2001). Comparison of three procedures for initial fitting of compression hearing aids: 1. Experienced users, fitted bilaterally. *British Journal of Audiology*, 35, 339-353.
- Munro, K.J., and Davis, J. (2003). Deriving the real-ear SPL of audiometric data using the "coupler to dial difference" and the "real ear to coupler difference". *Ear and Hearing*, 24, 100-110.
- Nabelek, A.K., and Robinson, P.K. (1982). Monaural and binaural speech perception in reverberation for listeners of various ages. *Journal of the Acoustical Society of America*, 71, 1242-1248.
- Neuman, A.C., and Hochberg, I. (1982). The effect of reverberation on the phoneme discrimination of children. Paper presented at the 1982 ASHA Convention. Toronto, ON.
- Nittrouer, S., (2002). Learning to perceive speech: How fricative perception changes, and how it stays the same. *Journal of the Acoustical Society of America*, 112, 711-719.
- Nittrouer, S., and Boothroyd, A. (1990). Context effects in phoneme and word recognition by younger children and older adults. *Journal of the Acoustical Society of America*, 87, 2705-2715.
- Nozza, R.J. (1987). Infant speech-sound discrimination testing: effects of stimulus intensity and procedural model on measures of performance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 81, 1928-1939.
- Nozza, R.J., Miller, S.L., Rossman, R.N., and Bond, L.C. (1991). Reliability and validity of infant speech-sound discrimination-in-noise thresholds. *Journal of Speech and Hearing Research*, 34, 643-650.
- Nozza, R.J., Rossman, R.N., and Bond, L.C. (1991). Infant-adult differences in unmasked thresholds for the discrimination of consonant-vowel syllable pairs. *Audiology*, 30, 102-112.
- Nozza, R.J., Rossman, R.N., Bond, L.C., and Miller, S.L. (1990). Infant speech-sound discrimination in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 87, 339-350.
- Pascoe, D.P. (1978). An approach to hearing aid selection. *Hearing Instruments*, 29, 12-16, 36.
- Ross, M., and Seewald R.C. (1988). Hearing aid selection and evaluation with young children. In F.H.Bess (Ed.), *Hearing Impairment in Children* (pp. 190-213). York Press.
- Scollie, S.D., and Seewald R.C. (2002). Predicting aided levels of speech from clinical test signals. *Ear and Hearing*, 23, 477-487.

- Scollie, S.D. (2005). Prescriptive procedures for infants and children. In: R. Seewald and J. Bamford, (Eds.). *A Sound Foundation Through Early Amplification 2004: Proceedings of the Third International Conference* (pp. 91-104). Stäfa, Switzerland: Phonak AG.
- Scollie, S.D., and Seewald R.C. (2002). Predicting aided levels of speech from clinical test signals. *Ear and Hearing*, 23, 477-487.
- Scollie, S., Seewald, R., Cornelisse, L., Moodie S., Bagatto, M., Lurnagaray, D., Beulac, S., and Pumford, J. (2005). The Desired Sensation Level Multistage Input/Output Algorithm. *Trends in Amplification*, 9(4): pp. 159-197.
- Scollie, S.D., Seewald, R.C., Moodie, K.S., and Dekok, K. (2000). Preferred listening levels of children who use hearing aids: Comparison to prescriptive targets. *Journal of the American Academy of Audiology*, 11, 230-238.
- Seewald, R.C. (1991). Hearing aid output limiting considerations for children. In J.A. Feigin & P. G. Stelmachowicz (Eds.), *Pediatric amplification: Proceedings of the 1991 national conference* (pp. 19-35). Nebraska: Boys Town National Research Hospital Press.
- Seewald, R.C. (1995). The Desired Sensation Level method for hearing aid fitting in infants and children. *Phonak Focus*, 20, 4-18.
- Seewald R.C., Moodie, K.S., Sinclair, S.T., and Cornelisse, L.E. (1995). Traditional and Theoretical Approaches to Selecting Amplification for Infants and Young Children. In F.H. Bess, J.S. Gravel, & A.M. Tharpe (Eds.), *Amplification for Children with Auditory Deficits* (pp. 161-191). Nashville: Bill Wilkerson Center Press.
- Seewald, R.C., Ramji, K.V., Sinclair, S.T., Moodie, K.S., and Jamieson, D.G. (1993). Computer-assisted implementation of the desired sensation level method for electroacoustic selection and fitting in children: Version 3.1, user's manual. London: The University of Western Ontario.
- Seewald R.C., and Ross, M. (1988). Amplification for young hearing-impaired children. In M.Pollack (Ed.), *Amplification for the Hearing-Impaired* (3 ed., pp. 213-271). Grune & Stratton.
- Seewald, R.C., Ross, M., and Spiro, M.K. (1985). Selecting amplification characteristics for young hearing-impaired children. *Ear and Hearing*, 6, 48-53.
- Seewald, R., Stelmachowicz, P.G., and Ross, M. (1987). Selecting and verifying hearing aid performance characteristics for young children. *Journal of the Academy of Rehabilitative Audiology*, 20, 25-38.
- Seewald, R.C., Zelisko, D.L., Ramji, K., and Jamieson, D.G. (1991). DSL 3.0: A computer-assisted implementation of the Desired Sensation Level Method for electroacoustic selection and fitting in children. The University of Western Ontario.
- Serpanos, Y.C. and Gravel, J.S. (2000). Assessing growth of loudness in children by cross-modality matching (CMM). *Journal of the American Academy of Audiology*, 11, 190-202.
- Sinclair, S.T., Beauchaine, K.L., Moodie, K.S., Feigin, J.A., Seewald, R.C., and Stelmachowicz, P.G. (1996). Repeatability of a real-ear-to-coupler difference measurement as a function of age. *American Journal of Audiology*, 5, 52-56.
- Smeds, K., (2004). Is normal or less than normal overall loudness preferred by first-time hearing aid users? *Ear and Hearing.*, 25, 159-172.
- Smeds, K., and Leijon, A. (2001). Threshold-based fitting methods for non-linear (WDRC) hearing instruments-comparison of acoustic characteristics. *Scandinavian Audiology*, 30, 213-222.

- Smith, L.Z. and Boothroyd, A. (1989). Performance intensity function and speech perception in hearing impaired children. Paper presented at the Annual Convention of the American Speech-Language-Hearing Association, St. Louis, MO. In.
- Snik, A.F., and Hombergen, G.C. (1993). Hearing aid fitting of preschool and primary school children. An evaluation using the insertion gain measurement. *Scandinavian Audiology*, 22, 245-250.
- Stapells, D.R., Herdman, A., Small, S.A., Dimitrijevic, A., and Hatton, J. (2005). Current status of the auditory steady state responses for estimating an infant's audiogram. In R.C. Seewald & J. Bamford (Eds.), *A Sound Foundation Through Early Amplification* (pp. 43-59). Stäfa, Switzerland: Phonak AG.
- Stapells, D.R. (2000a). Frequency-specific evoked potential audiometry in infants. In R.C. Seewald (Ed.), *A Sound Foundation Through Early Amplification: Proceedings of an International Conference* (pp.13-32). Stäfa, Switzerland: Phonak AG.
- Stapells, D.R. (2000b). Threshold estimation by the tone-evoked auditory brainstem response: A literature meta-analysis. *Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 24, 74-83.
- Stelmachowicz, P.G. (1991). Current issues in pediatric amplification. In J. A. Feigin and P. G. Stelmachowicz (Eds.), *Pediatric amplification: Proceedings of the 1991 National Conference* (pp. 1-18). Omaha, NE: Boys Town National Research Hospital.
- Stelmachowicz, P.G. (2000). How do we know we've got it right? Electroacoustic and audiometric measures. In R. C. Seewald (Ed.), *A Sound Foundation Through Early Amplification: Proceedings of an International Conference* (pp.109-118). Stäfa, Switzerland: Phonak AG.
- Tharpe, A.M., Sladen, D., Huta, H.M., and McKinley, R.A. (2001). Practical considerations of real-ear-to-coupler difference measures in infants. *American Journal of Audiology*, 10, 41-49.
- Walker G. (1997a). Conductive hearing impairment: The relationship between hearing loss, MCLs and LDLs. *Australian Journal of Audiology*, 19: 71-80.
- Walker G. (1997b). The preferred speech spectrum of people with normal hearing and its relevance to hearing aid fitting. *Australian Journal of Audiology*, 19: 1-8.
- Walker, G. (1998). Frequency response selection for people with mixed hearing loss: Preferred and predicted responses. *The Australian Journal of Audiology*, 20, 55-66.



Marlene Bagatto – аудиолог Национального центра аудиологии Университета Западного Онтарио (UWO) в Лондоне (провинция Онтарио, Канада). Специализируется на клинических исследованиях метода DSL. Д-р Bagatto – автор многочисленных публикаций, посвященных этому вопросу. Кроме того, д-р Bagatto работает в Университетской клинике речи и слуха Н.А. Leeper. Она также работает консультантом при Министерстве по делам детей и молодежи Онтарио.



Sheila Moodie – аудиолог-исследователь Национального центра аудиологии Университета Западного Онтарио (UWO) в Лондоне (провинция Онтарио, Канада). Значительная часть ее карьеры была посвящена разработке метода DSL и его практическому применению. Она участвовала в создании клинических протоколов, таких как измерение разности между реальным ухом и куплером (RECD) в детской практике.



Д-р Richard C. Seewald – ведущий научный сотрудник Национального центра аудиологии Университета Западного Онтарио (UWO) в Лондоне (провинция Онтарио, Канада) и председатель Исследовательского совета Канады по детскому слуху. Он также занимает должность профессора кафедры коммуникационных расстройств медицинского факультета Университета Западного Онтарио. Последние 25 лет д-р Seewald занимается проблемами подбора параметров звукоусиления для коррекции нарушений слуха у маленьких детей. Заслужил международное признание как один из авторов метода DSL, используемого в детском слухопротезировании.



Steve Beaulac присоединился к группе разработчиков DSL в 2000 г. Является ведущим программистом динамической библиотеки DSL m[i/o] и системным администратором Национального центра аудиологии. Окончил Университет Западного Онтарио с ученой степенью в области электротехники и компьютерных технологий.



Д-р Susan Scollie – ведущий научный сотрудник Национального центра аудиологии и доцент Университета Западного Онтарио (Лондон, провинция Онтарио, Канада). Вместе с коллегами разработала алгоритм настройки слуховых аппаратов DSL m[i/o]. Научные интересы включают исследование новых методов цифровой обработки сигнала при высокочастотной тугоухости, индекса разборчивости речи и локализации звука у детей с нарушениями слуха.

На острие инноваций

Компания Phonak, входящая в группу компаний Sonova, специализируется на проектировании, разработке, производстве и распространении технологически совершенных слуховых аппаратов и беспроводных систем.

Сочетание опыта в области технологий коррекции нарушений слуха и тесное сотрудничество со специалистами позволяет Phonak значительно улучшить качество жизни людей с нарушениями слуха и их близких.

Обладая многочисленными брендами продукции и каналами ее распространения, группа Sonova предлагает полный спектр цифровых слуховых аппаратов, а также высокотехнологичных специализированных продуктов и вспомогательных беспроводных коммуникационных систем. Группа Sonova, насчитывающая несколько тысяч сотрудников по всему миру, входит в число лидеров отрасли.

Посетите сайт www.phonak.com или www.phonak.ru для получения актуальной информации о компании и ее продукции.

www.phonak.ru
www.phonak.com