

Открытое протезирование: СИС как реальная альтернатива заушному аппарату класса "микро"



Растущая популярность заушных слуховых аппаратов (ЗСА) класса "мини" или "микро" частично обусловлена эффективным сочетанием стиля и содержания, отвечающим требованиям нового поколения пользователей слуховых аппаратов. Недавнее исследование, проведенное Kochkin (2006) из Better Hearing Institute, показало, что снабженные тонким звуководом аппараты, предназначенные для "открытого" протезирования, увеличили количество первичных пользователей слуховых аппаратов на 29%, снизив их средний возраст почти на 10 лет. В частности, на американском рынке, где на протяжении нескольких десятилетий преобладали внутриушные аппараты, это привело к увеличению продаж ЗСА в целом; теперь они составляют около половины всех проданных аппаратов. Примерно 20% из них – это ЗСА класса "мини" или "микро".

В основном сократилась продажа крупных внутриушных слуховых аппаратов (ВСА). Доля полностью внутриканальных аппаратов (СИС) существенно не изменилась, составив 10% от общего числа проданных аппаратов. Несмотря на то, что на большинстве европейских рынков преобладают ЗСА, исследование, проведенное сотрудниками Академии Акустики (Германия), показало, что 80% клиентов, обращающихся в центры слухопротезирования, хотели бы приобрести невидимые СИС, хотя большинство из них в итоге покидают клинику с заушными аппаратами. Очевидно, что изначально их привлекают косметические преимущества и простота обращения с СИС. Кроме того, несмотря на отсутствие в СИС направленных микрофонов, сохранение естественного резонанса ушной раковины обеспечивает направленность,

сопоставимую с эффектом открытого уха (Roberts, Schulein, 1997). Прошлый опыт показывает, что использование СИС при высокочастотной тугоухости оказалось не очень успешным из-за обратной связи, окклюзии и недостаточного усиления. Однако недавние технические достижения позволили преодолеть эти недостатки, позволив пользователям выбирать между СИС и ЗСА при "открытом" протезировании. Система акустически оптимизированного вента (AOV) впервые была применена в слуховых аппаратах Exélia СИС Petite, что, в комбинации с технологией WhistleBlock, привело к уменьшению эффекта окклюзии и обратной связи в сочетании с превосходным качеством звучания по сравнению с другими существовавшими в то время на рынке аппаратами. Так появилась альтернатива заушным аппаратам класса "микро", предназначенным для открытого слухопротезирования.

Открытое протезирование

На протяжении десятилетий существовали стратегии "открытого" подбора слуховых аппаратов с использованием больших вентов, призванных уменьшить эффект окклюзии у пациентов с нормальным низкочастотным слухом. Однако успеху первых систем открытого протезирования мешала проблема достижения нужного высокочастотного усиления без возникновения обратной связи. Ситуация резко изменилась после появления систем противофазного подавления обратной связи в реальном времени, используемых в современном поколении ЗСА класса "мини" и "микро". В сочетании с увеличенным, по сравнению с ВСА, расстоянием между микрофоном и ресивером это позволяет применять венты большого размера. Наряду с взрослением и старением поколения бэби-бумеров, шумная рокенрольная молодость которых сказалась на состоянии их слуха, это привело к существенному росту продаж ЗСА, в особенности моделей класса "микро". Причины роста популярности ЗСА изучены в исследовании, выполненном сотрудниками Better Hearing Institute (BHI). Как пользователи, так и специалисты в первую очередь отнесли к ним минимальную окклюзию и меньший риск обратной (рис. 1).

Оптимизация параметров вента, дальнейшее совершенствование алгоритмов подавления обратной связи и миниатюризация электронных компонентов позволили применить открытое протезирование к миниатюрным внутриушным аппаратам, предпочитаемым многими пациентами в связи с незаметностью, простотой обращения и эффективностью.

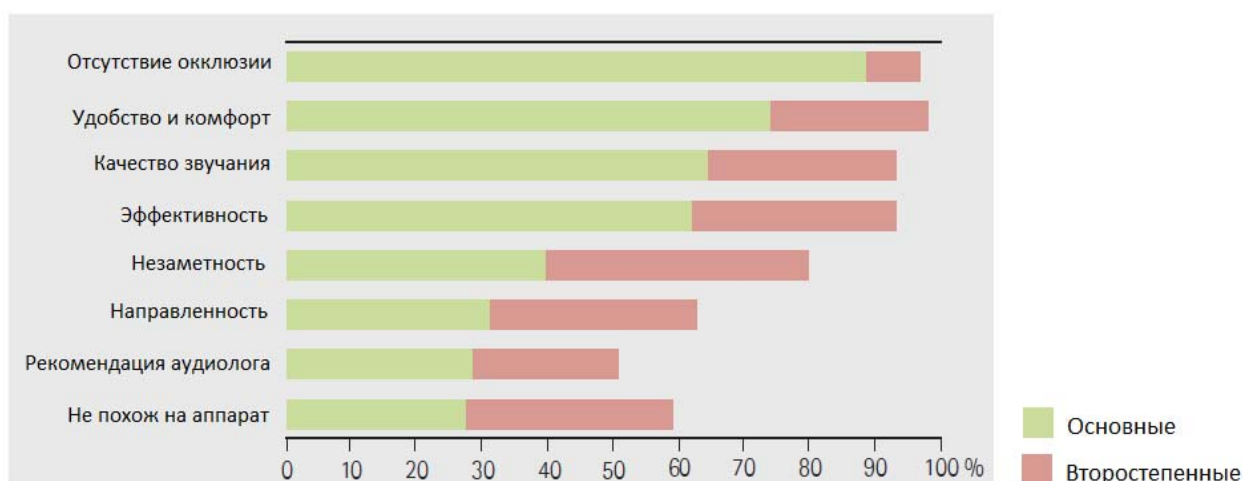


Рис. 1: Причины выбора ЗСА для открытого протезирования (Kochkin, 2006).

Индивидуальный выбор вента

Акустически оптимизированный вент (AOV) впервые был предложен в аппаратах Exélia CIC Petite. При расчете AOV используется понятие акустической массы вента. Этот параметр влияет на акустические характеристики слухового аппарата. Уровень звука, покидающего ухо через вент, зависит не только от диаметра вента, но и от его длины и формы. Разные по форме венты могут обладать одинаковой акустической массой: короткий и узкий вент может быть эквивалентен длинному, но широкому венту. Акустически оптимизированные венты – это сочетание цифрового трехмерного моделирования, высокоточного производства и совершенного программного обеспечения. При расчете "целевой" массы вента необходимо учитывать аудиограмму пациента, целевое усиление на низких и высоких частотах, риск окклюзии, риск обратной связи и т.д. Эта информация вводится в программу трехмерного моделирования корпуса для многомерного расчета взвешенного целевого значения акустической массы. В свою очередь, это целевое значение используется при моделировании AOV. Для достижения целевой массы вента специалист по моделированию может независимо менять такие параметры, как диаметр, длина и тип вента (напр., круглый, D-образный, IROS, обратный IROS, прерывистый D-образный). Для максимального увеличения общего размера вента с использованием переменной площади сечения и оптимизации доступного пространства внутри корпуса было разработано несколько новых вариантов вента, например "прерывистый D-образный обратный IROS". Этот эксклюзивный процесс гарантирует минимальные размеры аппарата в сочетании с максимально возможным вентом.

Фактическое значение акустической массы сохраняется и переносится электронным путем в слуховой аппарат на финальной стадии процесса производства. Значение AOV используется программой настройки для оптимизации расчета компенсации вента, что в свою очередь влияет на частотную характеристику, подавление обратной связи и другие параметры точной настройки, определяющие необходимое вносимое усиление и естественность звучания. Конечный результат всех этих технологических новшеств – действительно индивидуальный подход, обеспечивающий минимальные размеры слухового аппарата при оптимальных размерах вента.

Исследования в лабораторных и реальных условиях

В серии исследований, проведенных в лабораторных и клинических условиях, изучались 4 параметра, определяющие эффективность открытого протезирования с использованием заушных и внутриканальных слуховых аппаратов.

Борьба с окклюзией

Обычно под этим подразумевается максимально возможный размер вента, хотя на самом деле следует учитывать сложную взаимосвязь между акустической массой вента, определяемой его диаметром, длиной и объемом, и субъективным ощущением окклюзии. Kiessling с соавт. (2005) обнаружили, что акустическая масса непосредственно связана с субъективным ощущением окклюзии. В то же время невозможно оптимизировать размер вента без оптимального размещения миниатюрных электронных компонентов и цифровой технологии производства корпуса.

Предотвращение обратной связи

Современные системы фазовой инверсии обеспечивают высокие значения стабильного добавочного усиления (ASG). Однако для обеспечения необходимой слышимости речи при разных уровнях входной громкости следует учитывать взаимосвязь слышимости с ASG.

Слышимость

В первых аппаратах, предназначенных для открытого протезирования, возникновение обратной связи предотвращали путем уменьшения высокочастотного усиления, что в свою очередь отрицательно сказывалось на восприятии высокочастотных фрикативов и свистящих согласных звуков. Эффективные системы открытого протезирования должны сохранять восприятие высоких частот, даже при использовании больших вентов.

Равномерная частотная характеристика

Для достижения равномерности частотной характеристики слухового аппарата необходимо добиться акустического соответствия параметров звукоусиления таким показателям, как остаточный объем наружного слухового прохода, резонанс звуководов, объем, длина и диаметр вента, сопротивление уха и ресивера слухового аппарата. Слуховые аппараты, минимизирующие резонансные пики, обеспечивают более высокое качество звучания, чем аппараты, конструкция и настройка которых не учитывает вышеперечисленные факторы (Davis, Davidson, 1996; van Buuren, Festen, Houtgast, 1996). Отсутствие надлежащей акустической оптимизации аппаратов, предназначенных для открытого протезирования, может также привести к развитию обратной связи.

Данное исследование должно было ответить на ряд вопросов:

- Можно ли довести окклюзию и обратную связь в аппаратах CIC до уровней, типичных для заушных слуховых аппаратов класса "микро"?
- Могут ли современные системы подавления обратной связи обеспечить эффективное функционирование аппарата в сочетании с достаточным восприятием речи при разных уровнях входного сигнала?
- Может ли акустическая оптимизация параметров слухового аппарата в сочетании с усовершенствованным подавлением обратной связи обеспечить надлежащее функционирование с точки зрения окклюзии, реальной частотной характеристики, качества звучания и разборчивости речи?

Лабораторная оценка алгоритма подавления обратной связи

Главное различие между современными и прежними слуховыми аппаратами, предназначенными для открытого протезирования, состоит в предотвращении обратной связи в реальных условиях. Для оценки потенциальной успешности того или иного алгоритма его необходимо сравнить с некоторыми эталонными данными. Freed, Soli (2006) и Merks с соавт. (2006) предложили использовать в качестве такого показателя "стабильное добавочное усиление" (ASG). Оно измеряется на манекене, помещенном в звукоизолированную кабину. Обратная связь провоцируется путем приближения к голове манекена отражающего объекта, перемещаемого линейным двигателем. Именно таким способом оценивалась эффективность системы подавления обратной связи WhistleBlock, используемой в аппаратах Phonak Exélia CIC Petite. Величина ASG показывает, на сколько децибел можно безопасно (т.е. без появления свиста) увеличить усиление слухового аппарата, если включить подавление обратной связи. На рис. 2 представлено ASG, измеренное для шести различных слуховых аппаратов. Очевидно, что технология WhistleBlock обеспечивает значительно более высокое стабильное добавочное усиление по сравнению с эталонными системами, особенно в диапазоне частот между 1500 и 3000 Гц (напр., 16,7 дБ против 13,8 дБ у Конкурента 1).

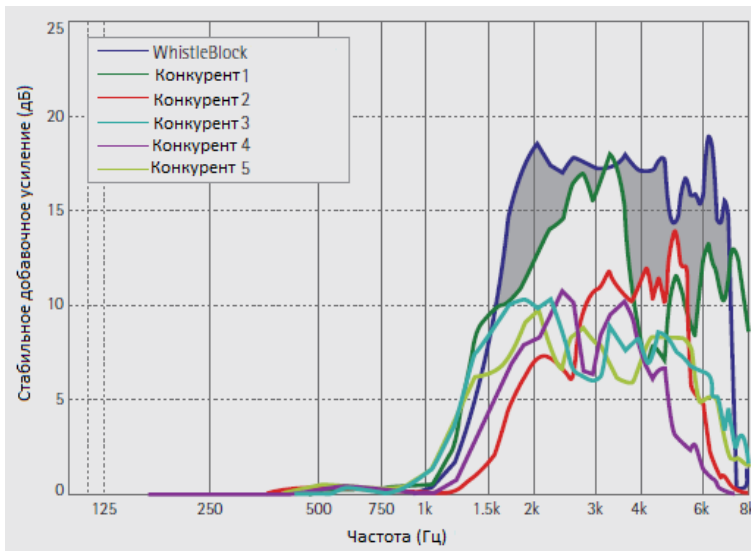


Рис. 2: Зависимость стабильного добавочного усиления (ASG) от частоты, измеренная для шести различных слуховых аппаратов, предназначенных для открытого протезирования.

Клинические испытания Exélia CIC Petite

Испытуемые

В исследовании принимали участие 26 слабослышащих пациентов (16 мужчин, 10 женщин). Средний возраст испытуемых составлял 65 лет. Большинство из них ранее пользовались слуховыми аппаратами. Все они были типичными кандидатами на открытое протезирование. Средние аудиометрические пороги испытуемых представлены на рис. 3.

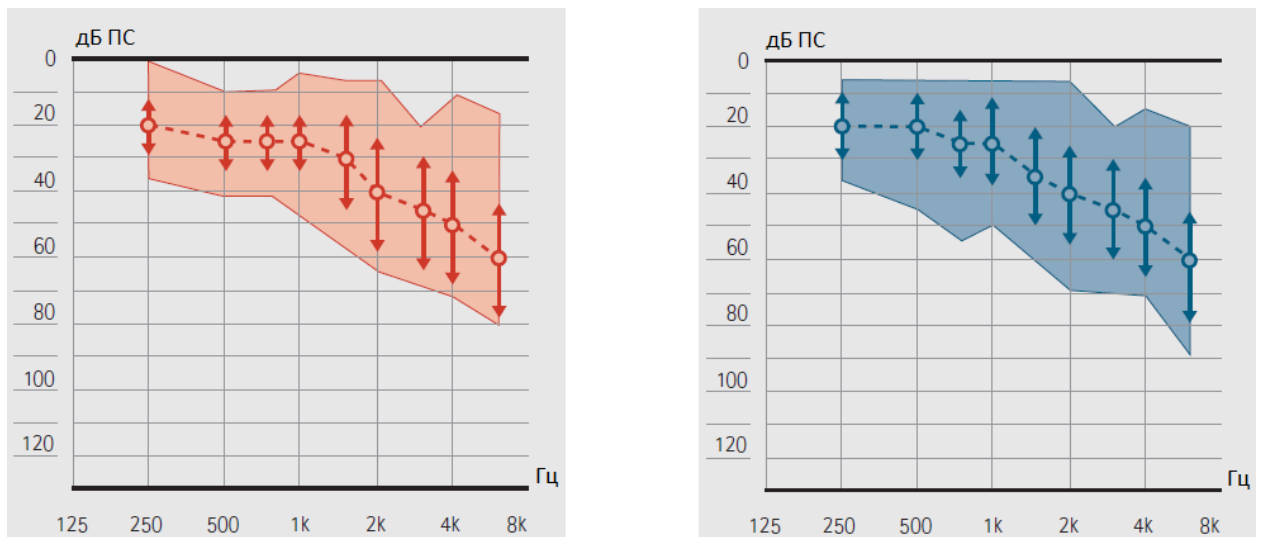


Рис. 3: Аудиометрические характеристики (среднее значение, стандартное отклонение и диапазон значений) правого (красное) и левого (синее) ушей 26 испытуемых, принимавших участие в исследовании.

Слуховые аппараты

Каждому испытуемому были бинаурально подобраны три модели слуховых аппаратов:

1. Exélia CIC Petite с акустически оптимизированным вентом (AOV)
2. Savia Art CIC с вентом IROS
3. microSavia Art CRT с открытым стандартным вкладышем

Слуховые аппараты были запрограммированы посредством iPFG V2.0 в соответствии с расчетной формулой NAL-NL1. Затем проверялось восприятие тихой (50 дБ УЗД) и умеренно громкой (65 дБ УЗД) мужской речи, после чего проверялось отсутствие дискомфорта при предъявлении громких звуков (85 дБ УЗД). Для оценки разборчивости речи в реальных условиях вычисляли индекс разборчивости речи (SII) для уровней 50 и 65 дБ УЗД. SII представляет собой усовершенствованный вариант артикуляционного индекса, использующий взвешенный расчет восприятия речи в третьоктавных полосах с учетом уровней речи и шума, степени тугоухости и усиления слухового аппарата. SII идеально подходит для прогнозирования эффективности слуховых аппаратов, т.к. учитывает искажения, возникающие при усилении звука. Доказано, что SII представляет собой очень надежное средство прогнозирования разборчивости речи у нормально- и слабослышащих людей в различной акустической обстановке.

После этого оценивалась эффективность системы подавления обратной связи в трех вариантах настройки:

1. Тест обратной связи не проводился
2. Тест обратной связи проводился в камере сопряжения объемом 2 см³
3. Тест обратной связи проводился в реальном ухе с использованием программы iPFG

В каждом из вариантов тест проводили бинаурально в "динамической" обстановке: испытуемый медленно приближал правую или левую ладонь к ушной раковине, начиная с расстояния 12 дюймов (30 см) и вплоть до появления обратной связи. Расстояние (в дюймах), на котором начиналась обратная связь, регистрировали для каждого уха и каждого аппарата в отдельности. Кроме того, испытуемым всякий раз давали прослушать два музыкальных отрывка, которые они должны были оценить с точки зрения качества звучания и наличия искажений. Наконец, каждому испытуемому предлагалось пользоваться слуховыми аппаратами Exélia CIC Petite с AOV в течение двух недель, после чего они заполняли анкеты, содержащие вопросы о качестве звучания, разборчивости речи, окклюзии и обратной связи.

Результаты

Окклюзия

Согласно полученным результатам, испытуемые пользовались слуховыми аппаратами в среднем по 9,5 часов в день, в общей сложности 155 часов. Испытуемые отвечали на вопросы анкеты сразу же после подбора каждого из слуховых аппаратов. В среднем, субъективная оценка аппаратов Exélia с точки зрения качества звучания и громкости собственного голоса была превосходной. 20 из 26 испытуемых назвали аппараты Exélia сравнимыми с аппаратами Savia Art CRT или превосходящими их по указанным выше параметрам. Затем проводилось анкетирование испытуемых через две недели пробного использования аппаратов Exélia CIC Petite AOV. Отмечена превосходная разборчивость речи в тишине и шуме; высоко оценены также громкость, качество звучания собственного голоса и общая удовлетворенность аппаратами.

Обратная связь

Для всех трех слуховых аппаратов оптимизация системы подавления обратной связи путем теста обратной связи в реальном ухе привела к отсутствию обратной связи в статичных условиях. Результаты "динамического" теста обратной связи показали статистически значимые преимущества Exélia CIC Petite AOV по сравнению с аппаратами Savia Art CIC и CRT (рис. 4). В аппаратах Exélia обратная связь возникала при поднесении ладони к аппарату на расстояние 0,21 дюйма, тогда как в обеих моделях Savia Art это расстояние составило 0,5 дюйма.

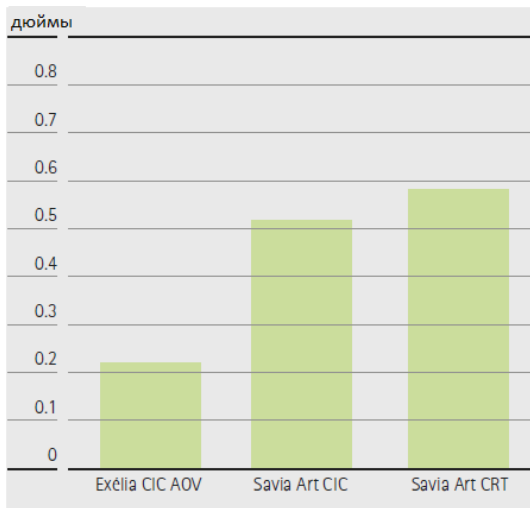


Рис. 4: Среднее расстояние между слуховым аппаратом и ладонью, на котором появлялась обратная связь.

Расчетная слышимость

Все три модели слуховых аппаратов снабжены широкополосными динамиками и используют многоканальную компрессию. Неудивительно, что расчетные значения SII были весьма схожими. Во всех аппаратах, использующих компрессию в широком динамическом диапазоне (WDRC), возникновение обратной связи наиболее вероятно при низком уровне входного сигнала. Поэтому большее среднее расчетное значение SII для аппаратов Exélia CIC Petite AOV (0,55) по сравнению с Savia Art CRT (0,48) свидетельствует о лучшем восприятии тихих звуков (рис. 5). Действительно, у 22 из 26 испытуемых расчетные значения SII были выше для аппаратов Exélia CIC Petite AOV по сравнению с Savia Art CRT при уровне входного речевого сигнала 50 дБ УЗД. Лучшее восприятие тихой речи и сопоставимая величина субъективной окклюзии свидетельствуют о том, что акустически оптимизированные венты в сочетании с эффективным подавлением обратной связи делают аппараты Exélia CIC Petite идеальными для открытого протезирования.

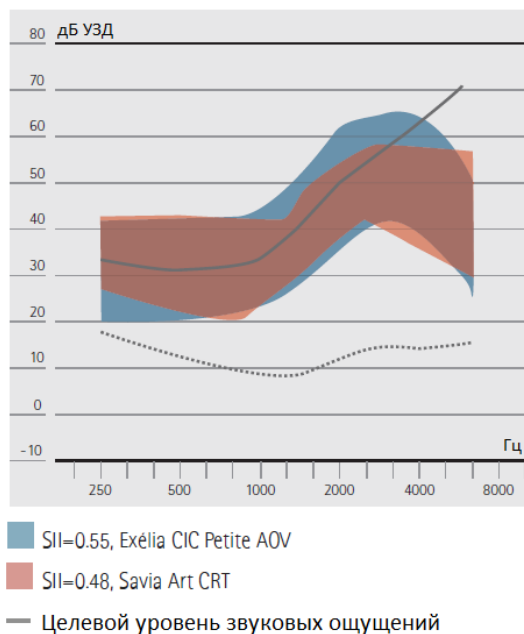


Рис. 5: Средние уровни усиленной речи и SII, рассчитанные для Exélia CIC Petite с AOV (синие) и Savia Art CRT (красные).

Равномерность амплитудно-частотной характеристики в реальном ухе (REAR)

Для определения неравномерности амплитудно-частотной характеристики слухового аппарата использовалась модификация количественного индекса равномерности частотной характеристики (FReSQI), предложенного Schultz с соавт. (1992). Для этого вычислялась "погрешность" REAR относительно полинома второго порядка, рассчитанного для выбранной полосы частот. Полученные значения FReSQI свидетельствовали о более равномерной характеристике Exélia CIC Petite AOV (15,1) по сравнению с Savia Art CIC (26,1) и Savia Art CRT (25,2).

Заключение

Результаты настоящего исследования показали, что акустическая оптимизация вента и параметров слухового аппарата ведет к большей равномерности амплитудно-частотной характеристики, положительно оцениваемой пользователем с точки зрения окклюзии, качества звучания и разборчивости речи. Кроме того, окклюзия и обратная связь, измеренные в аппаратах Exélia CIC Petite с AOV, были меньше, чем в ЗСА Savia Art CRT класса "микро" в условиях "открытого протезирования". Наконец, усовершенствованная система подавления обратной связи аппаратов Exélia лучше действовала в "динамических" условиях, обеспечивая лучшее восприятие тихих входных речевых сигналов.

Итак, эффективность слуховых аппаратов, предназначенных для открытого протезирования, зависит от:

1. Устранения окклюзии
2. Предотвращения обратной связи в статических и динамических условиях
3. Слышимости тихой речи и других звуков
4. Равномерности амплитудно-частотной характеристики

Аппараты Exélia CIC Petite с акустически оптимизированным вентом, цифровой технологией изготовления корпуса и подавлением обратной связи WhistleBlock соответствуют вышеперечисленным требованиям и представляют собой реальную альтернативу заушным микро-аппаратам, предназначенным для открытого протезирования.

Литература

Davis, L. A., Davidson, S. A. (1996). Preference for and Performance With Damped and Undamped Hearing Aids by Listeners With Sensorineural Hearing Loss. *Journal of Speech and Hearing Research* Vol. 39, p. 483-493.

Freed, D., Soli, S. (2006). An Objective Procedure for Evaluation of Adaptive Antifeedback Algorithms in Hearing Aids. *Ear & Hearing*. 27(4): p. 382-398.

Merks, I., Banerjee, S., Trine, T. (2006). Assessing the effectiveness of feedback cancellers in hearing aids. *The Hearing Review* 13(4): p. 53-57.

Kochkin, S. (2006). BHI Survey looks at Thin-Tube/Open-Fit BTEs. *The Hearing Review*. 13(10).

Roberts, M., Schulein, R. (1997). Measurement and intelligibility optimization of directional microphones for use in hearing aid devices. Paper 4515 (B3) presented *103 AES Convention*, New York.

Schultz, T. Y., Davidson, S. A., Davis, L. A., Krishnamurthy, A. K. (1992). Quantifying the irregularity of hearing aid responses. *ASHA*, 34, 199.

van Buuren, R. A., Festen, J. M., Houtgast, T. (1996). Peaks in the frequency response of hearing aids: Evaluation of the effects on speech intelligibility and sound quality. *Journal of Speech and Hearing Research*, 39, p. 239-250.

Kiessling, J. et al. (2005). Occlusion effect of earmolds with different venting systems. *Journal of American Academy of Audiology*, 16, p. 237–249.