

# Разборчивость речи в шуме с использованием Roger Pen, процессора Naída CI Q70 и интегрированного приемника Roger 17 в многопользовательской сети

*Geert De Ceulaer<sup>1</sup>, Julie Bestel<sup>2</sup>, Hans E. Mülder<sup>3</sup>, Felix Goldbeck<sup>3</sup>,  
Sebastien Pierre Janssens de Varebeke<sup>4</sup>, Paul J. Govaerts<sup>1,5,6</sup>*

*<sup>1</sup>The Eargroup (Антверпен-Дёрне, Бельгия); <sup>2</sup>Advanced Bionics AG, отдел международных клинических исследований (Штефа, Швейцария); <sup>3</sup>Phonak Communications AG (Муртен, Швейцария); <sup>4</sup>Jessa Hospital, отделение оториноларингологии (Хасселт, Бельгия); <sup>5</sup>University of Antwerp (Антверпен, Бельгия); <sup>6</sup>University of Ghent (Гент, Бельгия)*

**Резюме.** Roger – это цифровая адаптивная многоканальная технология дистанционной беспроводной передачи голоса говорящего непосредственно в слуховой аппарат или звуковой процессор кохлеарного импланта. Перескок частоты между каналами в сочетании с повторной передачей информации позволяют преодолеть проблемы с помехами, характерные для более ранних поколений FM-систем. В данной работе изучались преимущества передающего микрофона Roger Pen, используемого людьми с кохлеарными имплантами в многопользовательской сети (MTN) в шумной обстановке. В исследовании участвовали 12 постлингвально оглохших взрослых пользователей кохлеарных имплантов (КИ) Advanced Bionics CII/HiRes 90K. Испытуемые пользовались процессором Naída CI Q70 с интегрированным приемником Roger 17. Тестовая среда представляла собой имитацию обеда в шумном ресторане четырех людей, один из которых (слушатель) был пользователем КИ. Остальные трое (собеседники) поочередно разговаривали на фоне диффузного шума, создаваемого разговором множества людей. Измеряли пороги разборчивости речи (SRT) без Roger Pen, с одним Roger Pen и с тремя Roger Pen, объединенными в MTN. Использование трех Roger Pens в MTN улучшало SRT на 14,8 дБ по сравнению с ситуацией без Roger Pen и на 13,1 дБ по сравнению с использованием одного Roger Pen ( $p < 0,0001$ ). Использование Roger Pen в MTN обеспечивало пользователям кохлеарных имплантов Advanced Bionics статистически и клинически значимое повышение разборчивости речи на фоне шума. Интегрированный приемник Roger 17 помогает пользователям процессора Naída CI Q70 воспользоваться преимуществами системы Roger. Слуховые преимущества и простота использования позволяют специалистам широко рекомендовать и настраивать Roger взрослым пациентам с кохлеарными имплантами.

**Ключевые слова.** Кохлеарный имплант. FM. Восприятие речи. Шум. Частотная модуляция. Вспомогательные устройства.

## Введение

Реверберация и фоновый шум могут затруднить понимание речи собеседника в повседневной обстановке. Кроме того, по мере удаления от источника интенсивность звука падает, тогда как фоновый шум остается относительно постоянным. Поэтому отношение сигнал-шум (ОСШ) уменьшается [1]. Сочетание реверберации, фонового шума и расстояния до говорящего приводит к ухудшению условий прослушивания, даже для нормально слышащих людей. Для человека с нарушенным слухом негативные последствия существенно выше [2].

Беспроводные микрофоны, известные также как частотно-модулирующие (FM) системы, представляют собой вспомогательные устройства, помогающие людям с нарушенным слухом в сложной акустической обстановке. Они состоят из микрофона, размещаемого вблизи рта

говорящего, и приемника, носимого слушателем. Микрофон улавливает звуки, преобразует их в электрические волны и передает сигнал непосредственно в приемник. В результате отрицательное воздействие окружающего шума и расстояния снижается, а ОСШ на уровне уха слушателя увеличивается.

Неопровержимо доказано, что у взрослых с I-IV степенью тугоухости FM-системы значительно повышают разборчивость речи на фоне шума по сравнению с использованием слуховых аппаратов без FM-систем [3–5]. Однако, принятие FM-систем в этой популяции достаточно низкое, что, по-видимому, связано с ценой, вопросами эстетики и недостаточной информированностью [3, 5].

FM-системы могут также помочь пациентам, пользующимся кохлеарными имплантами (CI). Они существенно повышают разборчивость речи в шуме, благоприятно сказываются на четкости и качестве звука, а также снижают слуховое напряжение [6, 7]. Fitzpatrick и соавт. [8] провели абсолютно субъективное исследование, основанное на ведении дневника. Они установили, что пользователи КИ ощущают преимущества FM-систем при пребывании в шуме или на расстоянии от говорящего. Тем не менее, размеры устройства и сложность его подключения к КИ удерживают некоторых пользователей от применения FM-систем, несмотря на очевидные позитивные результаты.

FM-приемники с фиксированным усилением используют одинаковое усиление (как правило, +10 дБ) для всех входящих сигналов. Динамическое усиление обеспечивает автоматическое изменение параметров усиления, в зависимости от доли речи и шума во входящем сигнале. В приемнике Phonak MLxi (Phonak AG, Швейцария) небольшое усиление (+10 дБ) используется при уровне окружающего шума менее 57 дБ УЗД, повышаясь до +24 дБ при уровне шума 75 дБ УЗД. Wolfe и соавт. [9] изучили результаты использования FM-передатчика Phonak inspiro с адаптивными (MLxi) и фиксированными (MLxS) FM-приемниками. Они установили, что динамические (адаптивные) FM-системы обеспечивают значительно более высокую разборчивость фразовой речи в шуме по сравнению с традиционными FM-системами. Значительное повышение разборчивости фразовой речи в шуме наблюдалось также при использовании динамических FM-систем в сочетании со слуховыми аппаратами [10].

В более поздней работе Wolfe и соавт. [11] исследовали новейшую технологию, используемую в этой области – цифровую передачу сигнала от передатчика к приемнику. В этой системе уже не применяется частотная модуляция, поэтому, с технической точки зрения, ее нельзя назвать FM-системой. Подобно системе Phonak MLxi, система Phonak Roger (Mülder, Roger: The new wireless technology standard, Phonak Insight 2013) обладает адаптивной регулировкой усиления, но использует цифровую передачу и цифровую обработку усиливаемого сигнала. Эту систему сравнивали с приемниками MLxS и MLxi в условиях, имитирующих класс с одним разговаривающим педагогом [11]. Группа испытуемых состояла из 16 пользователей речевых процессоров Advanced Bionics Harmony и 21 пользователя процессоров Cochlear CP810. В качестве передатчика использовали Phonak inspiro, а FM-приемники подключали к речевым процессорам КИ посредством рожка iConnect FM (Advanced Bionics) и адаптера Europlug (Cochlear). Показатели разборчивости речи были значительно выше при использовании всех вариантов FM-систем по сравнению с отсутствием FM-систем. При самых высоких уровнях шума система Roger обеспечивала значительно более высокие показатели разборчивости речи по сравнению с традиционными (MLxS) и адаптивными (MLxi) FM-приемниками. Это дополнительное преимущество перед аналоговой адаптивной системой может быть связано с характерным для

цифровой системы более широким динамическим диапазоном, а также более четкой передачей сигнала. Авторы подчеркивают, что полученные результаты применимы только к процессорам Harmony и CP810, хотя аналогичная работа, выполненная с речевым процессором MED-EL Opus2, также продемонстрировала преимущество системы Roger перед MLxI и MLxS при высоких уровнях шума [12].

Речевой процессор Naída CI Q70 представляет собой новейшую разработку компании Advanced Bionics. В недавнем исследовании Wolfe [13] установил, что использование интегрированных приемников Roger 17 с речевыми процессорами Naída CI Q70 позволяет существенно повысить разборчивость речи при высоких уровнях шума в условиях имитации класса с одним разговаривающим педагогом.

## **Задачи исследования**

Основной задачей данного исследования было изучение преимуществ, обеспечиваемых в шумной обстановке передатчиком Roger Pen и интегрированным приемником Roger 17 в сочетании с речевым процессором Naída CI Q70. Почти все предшествующие работы касались обстановки в классной комнате с единственным разговаривающим педагогом, тогда как в настоящей работе было решено изучить эффективность системы Roger в условиях имитации ресторана с несколькими собеседниками. При этом можно использовать по одному передатчику Roger Pen для каждого говорящего: объединенные в сеть передатчики способны независимо передавать сигнал в приемник. В качестве альтернативы использовался один передатчик Roger Pen, лежащий в центре стола. Именно так в настоящее время чаще всего решается проблема общения со многими собеседниками.

## **Методика**

### **Тип исследования**

Данная работа относится к повторным рандомизированным перспективным интраиндивидуальным исследованиям. Проведение исследования было одобрено комиссией по этике клиники Jessa (Хасселт, Бельгия) 5 августа 2014 года (решение за номером 14.53/ORL14.02).

### **Участники исследования**

Двенадцать постлингвально оглохших взрослых были случайным образом набраны в Eargroup (Антверпен) и клинике Jessa (Хасселт). Дальнейшие наблюдения проводили в Eargroup в ходе одной сессии измерений. Все испытуемые пользовались кохлеарными имплантами CI/ HiRes 90K. Демографические данные приведены в табл. 1.

Стаж использования процессора Naída CI Q70 составлял не менее 3 месяцев для недавно прооперированных пациентов. Более опытные пациенты пользовались процессором Naída CI Q70 не менее 1 месяца. Из исследования были исключены лица, одновременно участвующие в другом исследовании, а также пациенты с сопутствующими заболеваниями, способными повлиять на результаты. У всех участников было получено письменное информированное согласие на проведение исследования.

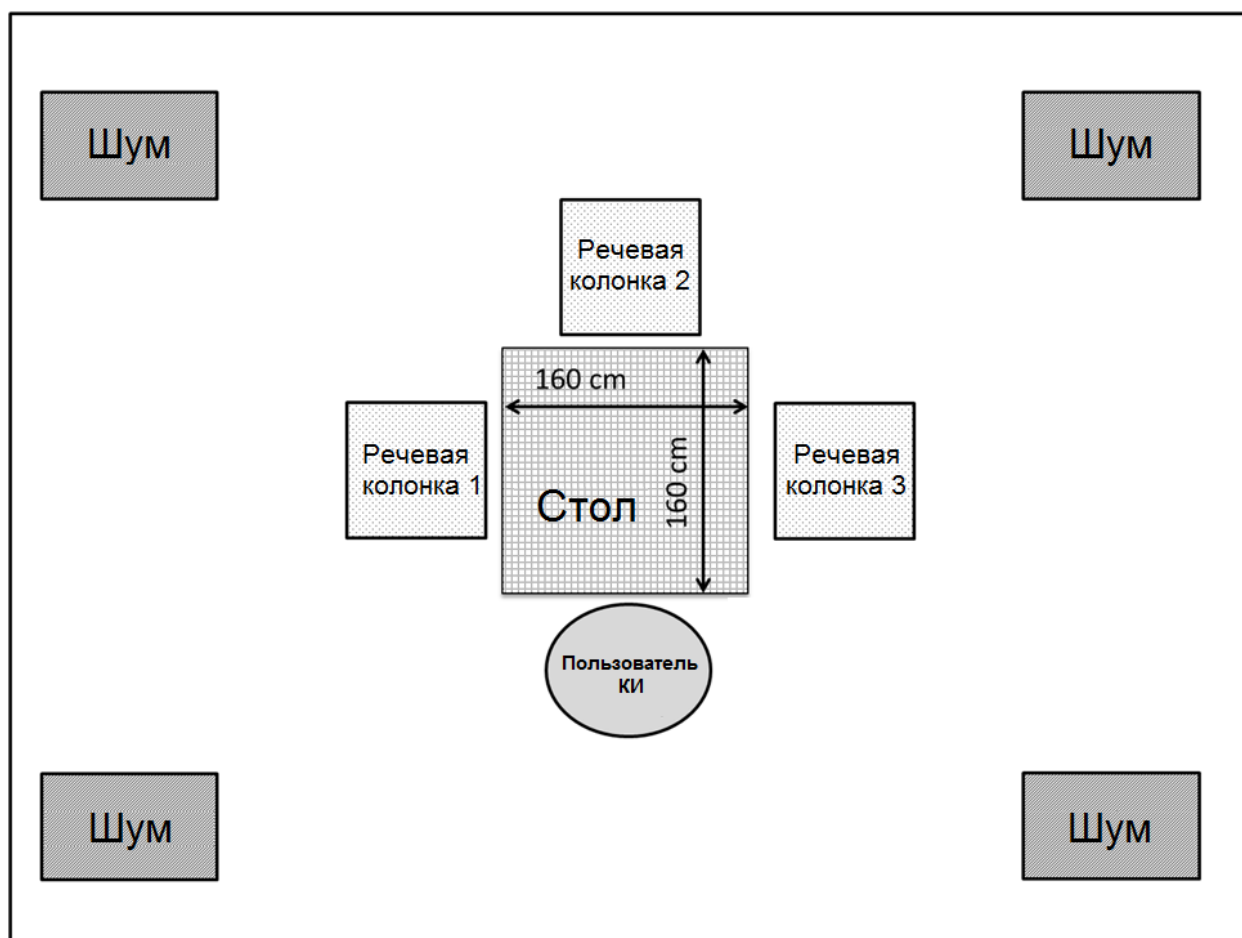
### **Ход исследования**

В ходе исследования имитировалась обстановка обеда 4 людей (1 пользователь КИ и 3 поочередно говорящих собеседника) в шумном ресторане. Роль трех собеседников играли персональные акустические колонки Fostex 6301B, расположенные вокруг слушателя, как показано на рис. 1. Диффузный речевой шум, полученный путем микширования записей голосов

100 людей в столовой (<http://spib.linse.ufsc.br/noise.html>), создавался с помощью размещенных по углам помещения 4 акустических колонок Alesis Elevate.

**Табл. 1:** Демографические данные испытуемых, в том числе тип микрофона процессора, используемый в ситуации "без Pen", и настройка усиления Clear Voice.

ID испытуемого	Возраст (лет)	Сторона КИ	Длительность тугоухости (лет)	Длительность пользования КИ (лет)	Настройка Clear Voice	Микрофон
S1	29	Левая	7	1	Средняя	Tmic
S2	68	Левая	0	1	Средняя	Tmic
S3	35	Левая	21	1	Средняя	Tmic
S4	71	Левая	14	0	Средняя	Tmic
S5	61	Правая	0	1	Средняя	Tmic
S6	65	Левая	0	1	Средняя	Tmic
S7	36	Правая	23	6	Средняя	Processor mic
S8	63	Левая	0	6	Выкл.	Tmic
S9	56	Правая	8	7	Средняя	Processor mic
S10	71	Левая	0	7	Выкл.	Processor mic
S11	64	Левая	1	1	Средняя	Tmic
S12	26	Правая	11	10	Средняя	Tmic



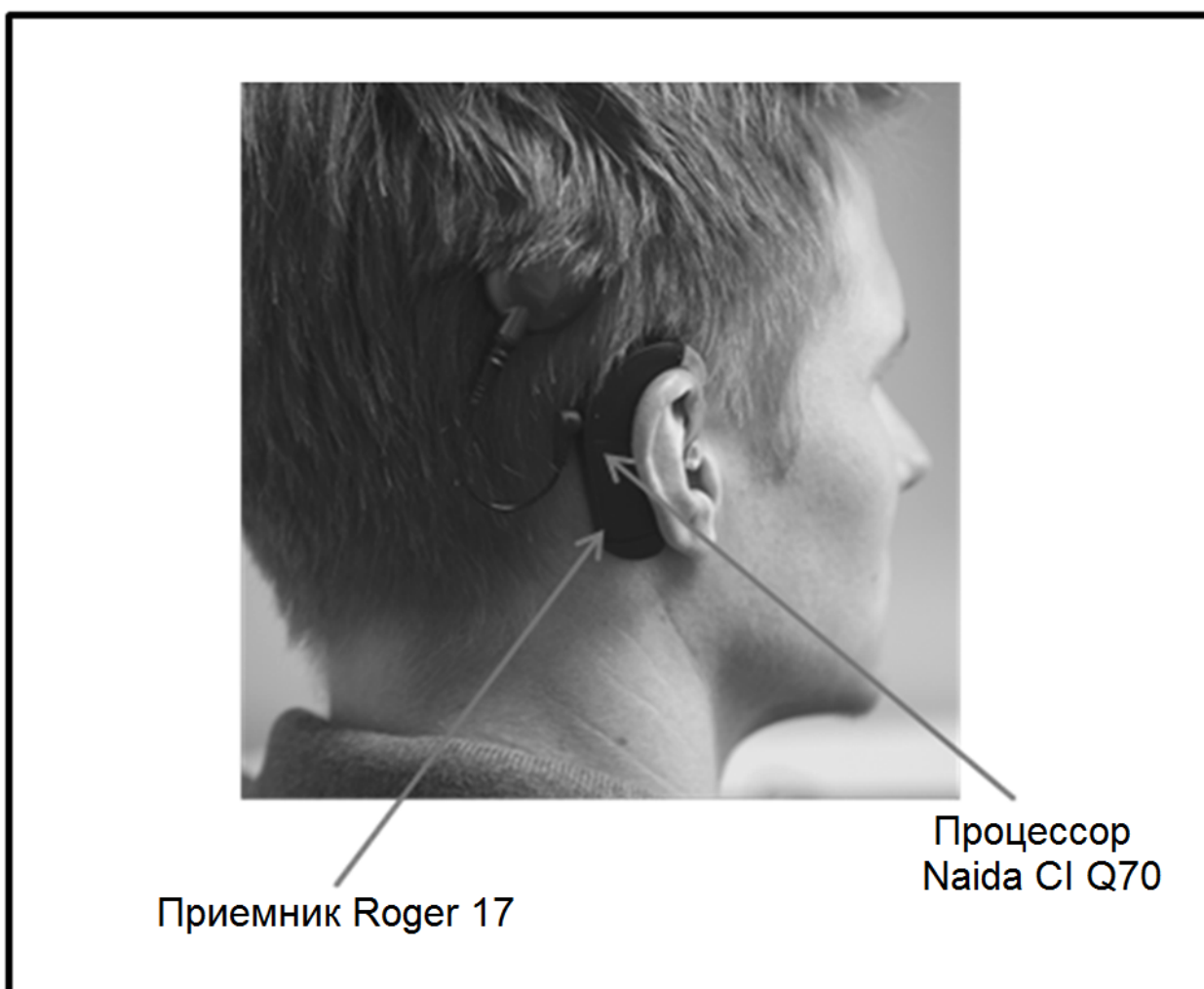
**Рис. 1:** Схема помещения с обозначением расположения акустических колонок. Пользователь КИ сидит по одну сторону квадратного стола (160 x 160 см), а речевые акустические колонки расположены посередине каждой из трех остальных сторон. Четыре шумовые акустические колонки размещены по углам помещения.

Все акустические колонки были подключены к ПК посредством звуковой карты Gigaport. Программная платформа AŞE (Otoconsult nv, Антверпен, Бельгия), подробно описанная Govaerts и соавт. [14], разделяла речь и шум на соответствующие акустические колонки; при этом речь подавалась в случайном порядке на одну из трех речевых колонок.

### Протокол исследования и настройка устройств

Измерения проводились в трех ситуациях: (1) без Roger Pen (ситуация "без Pen"), (2) с одним микрофоном-передатчиком Roger Pen (ситуация "1 Pen") и (3) с тремя Roger Pens, объединенными в многопользовательскую сеть (MTN) (ситуация "3 Pen"). В последнем случае каждый из участников беседы пользуется собственным беспроводным микрофоном. Один "ведущий" микрофон контролирует активацию микрофонов таким образом, чтобы в каждый момент времени работал только один из микрофонов, а остальные были бы отключены. Переключение микрофонов управляется голосовой активностью; оно происходит быстро и автоматически, по принципу "кто первым заговорил, того и слушают".

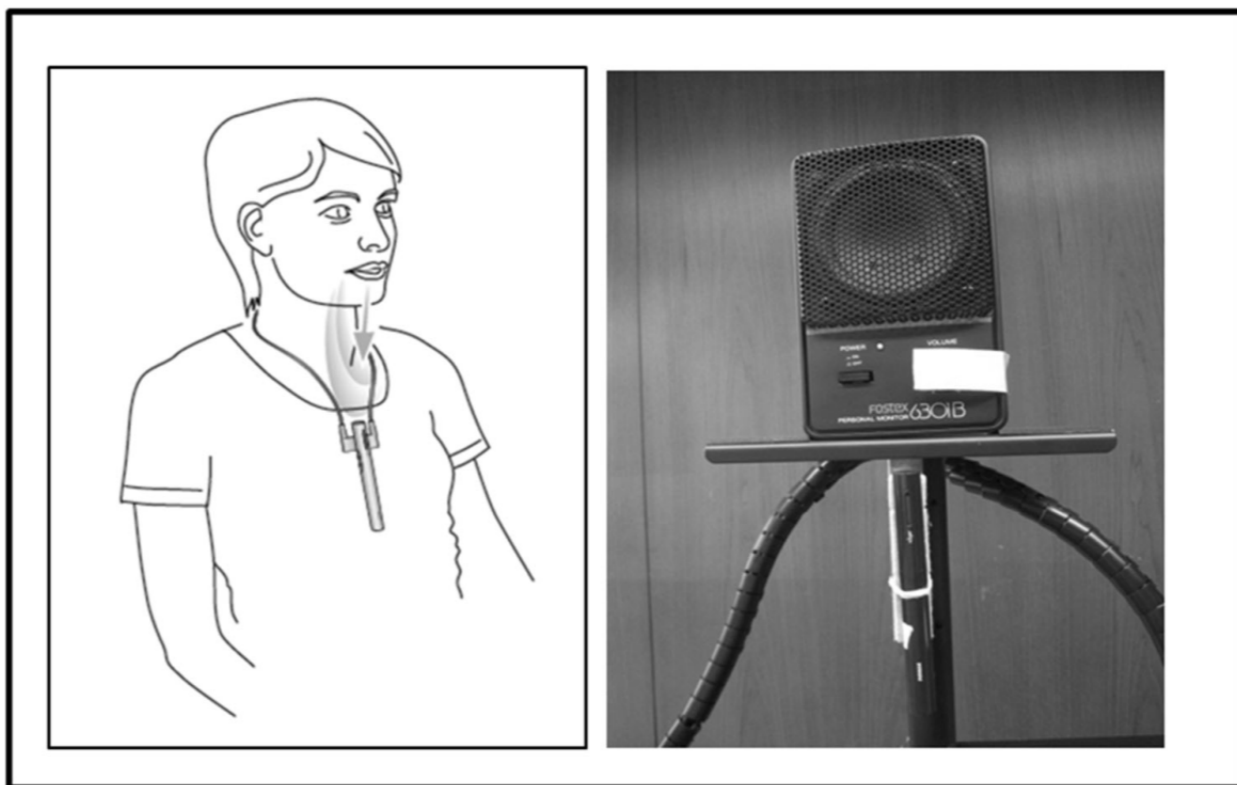
В ситуациях 2 и 3 слушатели пользовались речевым процессором Naída с подключенным приемником Roger 17 (Рис. 2).



**Рис. 2:** Пользователь Naída CI Q70 с подключенным интегрированным приемником Roger 17. Приемник Roger 17 подключается к нижней части батарейного блока PowerCel 170.

В варианте "1 Pen" единственный передатчик Roger Pen помещали в центре стола. В варианте "3 Pen" три передатчика Roger Pen помещали на расстоянии около 20 см от динамика каждой

речевой колонки, примерно в том месте, где должен был бы находиться узел галстука собеседника (Рис. 3).



**Рис. 3:** Слева: Передатчик Roger Pen, надетый на шею говорящего на оптимальном расстоянии от рта (около 20 см). Справа: имитация изображенной слева ситуации. Передатчик Roger Pen подвешен под акустической колонкой, на расстоянии около 20 см от ее динамика.

Процессоры всех испытуемых были настроены в соответствии со стратегией HiRes Optima (последовательная стимуляция), с входным динамическим диапазоном 80 дБ. Параметры настройки задавались компьютерной программой FOX, согласно алгоритму, описанному Govaerts и соавт. [14, 15, 16].

Для данного исследования каждый испытуемый был снабжен новым процессором Naída CI Q70 только на время тестирования, без внесения каких-либо изменений в программу. Передатчики Roger 17 подключали к дополнительному входу Naída Powercel 170. В ситуации "без Pen" использовали микрофон KI и "повседневную" программу. В зависимости от предпочтений испытуемого, микрофон находился в режиме "T-mic" или "Processor mic" [17]. В ситуациях "1 Pen" и "3 Pen" "повседневная" программа была несколько модифицирована: 100% входной сигнал микрофона изменяли на 50:50 (микрофон и Roger 17), в соответствии с рекомендациями Wolfe и Schafer [7] и Advanced Bionics.

Roger автоматически изменяет усиление в соответствии с уровнем шума. В ситуации "3 Pen" все передатчики Roger Pen автоматически работали в режиме направленных микрофонов. В ситуации "1 Pen", при горизонтальном расположении Roger Pen на столе, передатчик автоматически переходил в ненаправленный режим, если уровень шума не достигал 70 дБ УЗД. При более высоких уровнях окружающего шума Roger Pen автоматически переключался в режим направленности. Встроенный гистерезис (задержка) предотвращает частое переключение между ненаправленным и направленным режимами при колебаниях уровня шума в области 70 дБ УЗД.



Семь из двенадцати испытуемых пользовались только одним имплантом. Пятеро пользовались бимодальным режимом (КИ + контралатеральный слуховой аппарат); их просили снимать слуховой аппарат на время исследования. Пациенты с двусторонними кохлеарными имплантами не были включены в данную работу.

### Оценка результатов

Восприятие речи изучали с помощью теста разборчивости фразовой речи в шуме на фламандском языке [18, 19]. Тест состоит из 36 групп фраз, по 10 фраз в каждой группе. Каждая фраза содержит разное количество ключевых слов. Результаты регистрируются в виде процента правильно повторенных слушателем ключевых слов.

Отдельные фразы предъявляли в случайном порядке через одну из трех речевых колонок. Речь предъявляли на одном фиксированном уровне 65 дБ УЗД (у головы испытуемого). Речевой шум [20] предъявляли через шумовые колонки на 6 фиксированных уровнях: 55, 60, 65, 70, 75 и 80 дБ УЗД. Таким образом, каждого испытуемого тестировали в трех разных ситуациях, по шесть вариантов ОСШ в каждой ситуации. Последовательность ситуаций задавалась в случайном порядке; испытуемые не знали, какая ситуация используется в данный момент (слепой метод).

Порог разборчивости речи (SRT) вычислялся путем линейной интерполяции. За него принимали ОСШ, при котором испытуемый правильно повторял 50% ключевых слов. SRT являлся главным показателем, а процент правильно повторенных ключевых слов при каждом ОСШ – вторичным показателем.

### Статистика

Для обработки показателей SRT и процентов правильно повторенных слов использовалась описательная статистика. При принятии решения о применении параметрического или непараметрического дисперсионного анализа результатов использовали критерий Шапиро-Уилка. Вторичные показатели анализировали с использованием двустороннего дисперсионного анализа с двумя повторяющимися факторами (ОСШ и условия измерения). Для каждого повторного дисперсионного анализа с помощью теста Mauchly проверялось гипотеза сферичности (равные субпопуляционные отклонения); при необходимости вносилась поправка на многомерные эффекты (поправка Гринхауса-Гейссера). Результаты считали статистически значимыми при значениях  $p$  ниже 0,05. Весь статистический анализ проводили с использованием программы Statistica (версия 9.1, Statsoft Corporation).

### Результаты

Перед тестированием в шуме все испытуемые прошли тестирование в тишине при уровне предъявления фразового материала 65 дБ УЗД. Показатели варьировали от 67,5 до 100% (в среднем 93,4%).

Индивидуальные значения SRT приведены в табл. 2. У 10 из 12 испытуемых наблюдалось прогрессивное улучшение показателей по мере перехода от ситуации "без Pen" к ситуации "3 Pen". В ситуации "3 Pen" у всех испытуемых отмечались отрицательные значения SRT и значительные улучшения по сравнению с ситуацией "без Pen".

Тесты Шапиро-Уилка не были статистически значимыми для трех распределений ( $p = 0,31$ ,  $p = 0,25$  и  $p = 0,35$  для ситуаций "без Pen", "3 Pen" и "1 Pen"). Это относится и к тесту сферичности Mauchly ( $p = 0,168$ ). Поэтому для оценки различий между отдельными ситуациями воспользовались параметрическим односторонним дисперсионным анализом. Для модели в целом были

обнаружены статистически значимые отличия ( $F(2,22) = 276,32, p < 0,0001$ ). Парные сравнения постфактум (поправка Бонферрони) продемонстрировали высокую статистическую значимость ( $p < 0,0001$ ) улучшения SRT с +5 дБ with ("без Pen") и +3,3 дБ ("1 Pen") до -9,8 дБ ("3 Pen"). Среднее различие 1,7 дБ между ситуациями "без Pen" и "1 Pen" не было статистически значимым ( $p = 0,07$ ). На рис. 4 представлены средние значения, 95% доверительные интервалы и среднеквадратичные отклонения.

Табл. 2: Индивидуальные SRT каждого испытуемого (в дБ) в каждой из трех ситуаций.

ID испытуемого	Без Pen	1 Pen	3 Pen
S1	5,9	1,7	-12,4
S2	7,1	4,7	-11,3
S3	4,8	6,7	-6,1
S4	6,2	5,6	-7,6
S5	3,2	-0,4	-10,5
S6	3,5	1,1	-9,4
S7	3,5	1,5	-12,5
S8	3,5	2,5	-11,1
S9	0,4	1,9	-9,5
S10	7,9	4,8	-5,9
S11	7,1	5,0	-12,3
S12	6,9	4,9	-8,7

Чем ниже показатель, тем лучше восприятие речи.

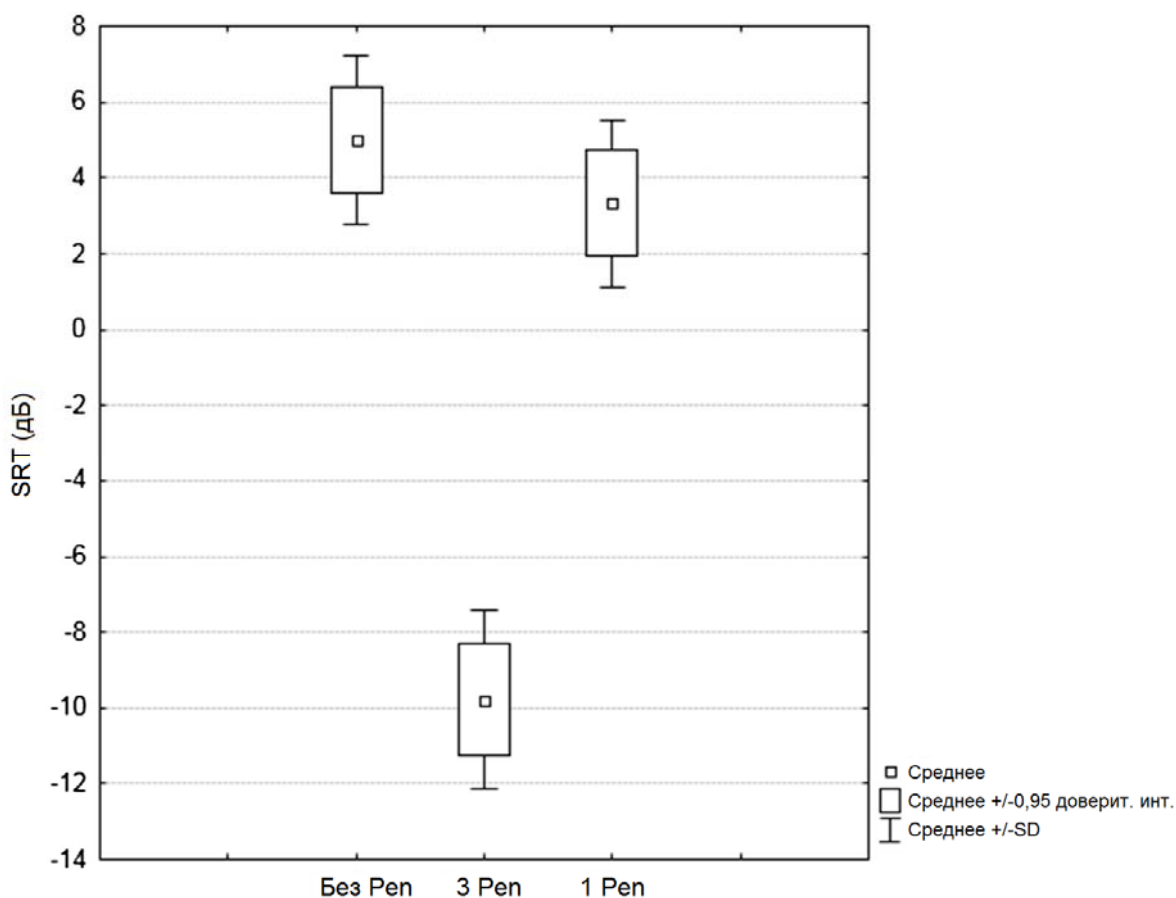


Рис. 4: Графическое представление SRT в трех ситуациях – без передатчика, с одним передатчиком в центре стола и с тремя передатчиками, помещенными у каждой колонки. Показаны средние значения SRT в дБ, 95% доверительные интервалы и среднеквадратичные отклонения.



Вторичные показатели оценивали с помощью двустороннего повторного дисперсионного анализа. В качестве факторов выступали условия (3 уровня) и ОСШ (6 уровней). Как условия, так и ОСШ оказывали статистически значимое влияние на результаты (условия:  $F(2,22) = 478,34$ ,  $p < 0,0001$ , ОСШ:  $F(5,55) = 293,97$ ,  $p < 0,0001$ ); это относится и к взаимодействию между факторами (условие  $\times$  ОСШ:  $F(10,110) = 32,73$ ,  $p < 0,0001$ ).

Анализ постфактум обнаружил статистически значимые различия средних показателей в ситуациях "3 Pen" и "без Pen" при всех ОСШ, за исключением -15 дБ: 16,2% при +10 дБ ОСШ ( $p = 0,02$ ), 40% при +5 дБ ОСШ ( $p < 0,001$ ), 77,3% при 0 дБ ОСШ ( $p < 0,001$ ), 78,6% при -5 дБ ОСШ ( $p < 0,001$ ), 48,8% при -10 дБ ОСШ ( $p < 0,001$ ) и 48,8% при -10 дБ ОСШ ( $p < 0,001$ ). Среднее различие показателей при -15 дБ составило 14,5%, но не было статистически значимым.

Аналогичное сравнение постфактум ситуаций "3 Pen" и "1 Pen" обнаружило следующие статистически значимые ( $p < 0,001$ ) различия средних показателей: 26,1% при +5 дБ ОСШ, 70,9% при 0 дБ ОСШ, 78% при -5 дБ ОСШ и 48,8% при -10 дБ ОСШ. Средние значения различий между показателями составили 9,9% для +10 дБ ОСШ и 14,5% для -15 дБ ОСШ. Эти различия не были статистически значимыми.

Анализ постфактум различий между ситуациями "без Pen" и "1 Pen" обнаружил, что ни одно из них не было статистически значимым. Примечательно, что наибольшее среднее различие, достигавшее 13,9%, было получено при ОСШ +5 дБ ( $p = 0,15$ ).

Средние значения и 95% доверительные интервалы для трех ситуаций представлены на рис. 5.

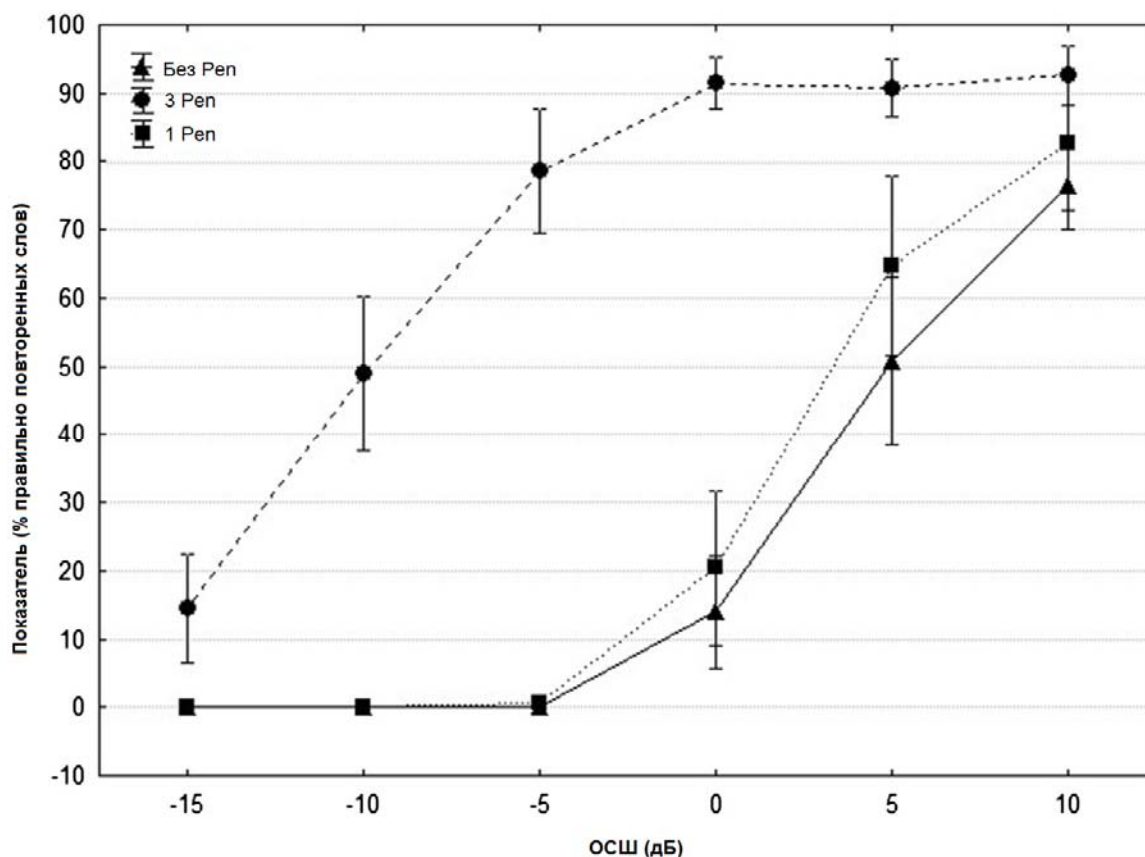


Рис. 5: График, иллюстрирующий средний показатель правильно повторенных слов в трех ситуациях (без Pen, 3 Pen и 1 Pen) при каждом ОСШ: от 10 до -15 дБ, шагом в 5 дБ. Усиками отмечены 95% доверительные интервалы.

## Обсуждение

Было продемонстрировано, что использование передатчиков Roger Pen в многопользовательской сети (MTN) обеспечивает значительные статистические и клинические преимущества разборчивости речи по сравнению с одним передатчиком или отсутствием передатчика. Это первая работа, в которой изучалось применение MTN взрослыми пользователями КИ в реалистичной повседневной обстановке. Предшествующие работы касались использования одного передатчика в классе, при большом расстоянии между говорящим и слушающим (5-6 м), что в большей степени отражает применение FM-систем детьми в школе [9, 11, 21].

Смоделированная нами ситуация относится, прежде всего, к взрослым, пользующимся системой Roger при беседе в небольшой группе людей.

В отличие от Wolfe и соавт., изучавших систему Roger в сочетании с процессором Advanced Bionics Harmony [11], мы подключали приемник Roger непосредственно к речевому процессору Naída CI Q70 посредством специально разработанного интегрированного разъема. При использовании MTN среднее снижение SRT составило 14,8 дБ по сравнению с ситуацией "без Pen" и 13,1 дБ по сравнению с ситуацией "1 Pen", что является огромным клиническим преимуществом. Приведем пример. Уровень шума в обычном ресторане достигает 70 дБ УЗД, тогда как уровень разговорной речи не превышает 65 дБ УЗД. При таком ОСШ (-5 дБ) испытуемые достигали в среднем 80% разборчивости речи в ситуации "3 Pen", а в ситуациях "1 Pen" и "без Pen" разборчивость была нулевой. На показатели SRT влиял эффект потолка в ситуации "3 Pen" и эффект пола в ситуациях "1 Pen" и "без Pen", что привело к статистически незначимым различиям вторичного показателя (процент правильно повторенных слов) при +10 дБ ОСШ и -15 дБ ОСШ в некоторых сравнениях постфактум.

Несмотря на то, что статистический анализ, проводившийся в настоящей работе, предполагал выявление различий, достигающих не менее 4 дБ, нельзя полностью игнорировать некоторое различие показателей в ситуациях "1 Pen" и "без Pen". Дело в том, что в ситуации "1 Pen" отмечалось небольшое и статистически незначимое преимущество в 1,7 дБ ОСШ, которое, тем не менее, может положительно сказываться на разборчивости речи. Мы намеренно использовали ситуацию "1 Pen", потому что в настоящее время это наиболее типичный вариант применения системы Roger взрослыми людьми. Однако, важно предупредить пользователя, что он должен не просто положить Roger Pen на стол, а попросить собеседников передавать его друг другу. Еще один фактор – направленность микрофона, потому что большинство испытуемых (9 из 12) пользовались режимом T-mic в ситуации "без Pen". T-mic расположен у входа в слуховой проход, что уже обеспечивает достаточную направленность по сравнению с ненаправленным микрофоном, расположенным в верхней части процессора. Напомним, что передатчик Roger в ситуации "1 Pen" функционирует в ненаправленном режиме при уровнях шума до 65 дБ УЗД, но переключается в направленный режим, если уровень шума превышает 70 дБ УЗД. Таким образом, при высоких уровнях шума Roger Pen обеспечивает преимущественное восприятие голоса собеседника, находящегося перед передатчиком, тогда как собеседники, находящиеся справа и слева, оказываются вне зоны направленности.

В предыдущих работах, сравнивавших Roger с FM-системами, было установлено, что при высоких уровнях шума (70–80 дБ А) цифровая система Roger более эффективна, чем адаптивная аналоговая FM-система [11, 21]. Это различие может объясняться более высоким максимальным усилением системы Roger (до 30 дБ), более широким частотным диапазоном, обеспечивающим лучшее поступление речевой информации, а также более чистым сигналом (из-за отсутствия помех благодаря алгоритму перескока частоты). В данной работе уровни шума,

соответствовавшие SRT, составляли 58-65 дБ в ситуации "1 Pen" и 71-78 дБ в ситуации "3 Pen". Таким образом, уровни шума были на минимальном уровне, при котором начинает проявляться преимущество адаптивной цифровой системы над классической или адаптивной аналоговой системой [9, 11, 21]. Тем не менее, этих уровней шума оказалось достаточно для достижения точки, в которой уровень усиления +10 дБ начинает динамически повышаться. Это очень важно, потому что в предыдущем исследовании, выполненном с использованием процессора Advanced Bionics Auria, было установлено, что оптимальные результаты достигаются при усилении, превышающем +10 дБ [22].

Учтите, что результаты данного исследования относятся к "хорошим" пациентам (испытуемые достигали эффекта потолка для разборчивости речи в тишине, а SRT при использовании процессора без Roger достигал +5 дБ). Кроме того, процессор Naida CI Q70 обладает большим входным динамическим диапазоном (80 дБ), что может повлиять на эффективность звукового процессора в сочетании с FM-системами [22]. Важно подчеркнуть, что применение адаптивной цифровой технологии может позволить пользователям КИ превзойти нормально слышащих людей по показателям разборчивости речи в шуме [21].

С практической точки зрения интегрированный приемник Roger 17 способствует большей доступности технологии Roger для пользователей Naida CI Q70 и устраняет некоторые дополнительные сложности, препятствовавшие широкому распространению FM-систем среди пользователей КИ. Таким образом, специалисты могут шире рекомендовать и настраивать систему Roger своим пациентам, пользующимся имплантами Advanced Bionics [8]. В будущем было бы интересно сравнить адаптивную цифровую передачу сигнала с другими типами направленности микрофонов, доступными в новейших моделях звуковых процессоров.

## **Заключение**

Система адаптивной цифровой беспроводной передачи сигнала Roger Pen и интегрированный приемник Roger 17 обеспечивают значительное повышение разборчивости речи у пользователей звукового процессора Naida CI Q70. В условиях многопользовательской сети (MTN) наблюдалось статистически и клинически значимое улучшение разборчивости, проявлявшееся в улучшении SRT на 14,8 дБ по сравнению с микрофоном процессора и на 13,1 дБ – по сравнению с единственным передатчиком Roger Pen. Специалисты могут рекомендовать систему Roger пользователям КИ, часто общающимся с другими людьми в шумной обстановке.

**Конфликт интересов.** Клиника Eargroup (авторы Geert De Ceulaer и Paul Govaerts) получала исследовательские гранты от компании Advanced Bionics.

**Этическое одобрение.** Все выполнявшиеся в ходе исследования процедуры, связанные с участием людей, соответствовали внутренним и национальным этическим стандартам, Хельсинкской декларации 1964 года и поправкам к ней, а также иным этическим стандартам.

**Информированное согласие.** Информированное согласие было получено у всех испытуемых, принимавших участие в исследовании.

**Открытый доступ.** Данная статья распространяется в соответствии с условиями международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), дающей право на неограниченное использование, распространение и воспроизведение в любом средстве массовой информации при условии упоминания автора(ов) первоисточника, ссылки на лицензию Creative Commons и указании внесенных изменений.

## Литература

1. Nabelek A, Nabelek I (1994) Room acoustics and speech perception. In: Katz J (ed) Handbook of clinical audiology, 4th edn. Williams and Wilkins, Baltimore, pp 624–636
2. Nabelek A, Pickett J (1974) Monaural and binaural speech perception through hearing aids under noise and reverberation with normal and hearing-impaired listeners. *J Speech Hear Res* 17(4):724–739
3. Boothroyd A (2004) Hearing aid accessories for adults: the remote FM microphone. *Ear Hear* 25:22–33
4. Lewis M, Crandell C, Valente M, Enrietto J (2004) Speech perception in noise: directional microphones versus frequency modulation (FM) systems. *J Am Acad Audiol* 15:426–439
5. Chisolm T, Noe C, McArdle R, Abrams H (2007) Evidence for the use of hearing assistive technology by adults: the role of the FM system. *Trends Amplif* 11(2):73–89
6. Schafer EC, Thibodeau LM (2004) Speech recognition abilities of adults using cochlear implants with FM systems. *J Am Acad Audiol* 15(10):678–691
7. Wolfe J, Schafer EC (2008) Optimizing the benefit of sound processors coupled to personal FM systems. *J Am Acad Audiol* 19(8):585–594
8. Fitzpatrick E, Fournier P, Se´guin C, Armstrong S, Che´nier J, Schramm D (2010) Users' perspectives on the benefits of FM systems with cochlear implants. *Int J Audiol* 49(1):44–53
9. Wolfe J, Schafer EC, Heldner B, Mu¨lder H, Ward E, Vincent B (2009) Evaluation of speech recognition in noise with cochlear implants and dynamic FM. *J Am Acad Audiol* 20(7):409–421
10. Thibodeau L (2010) Benefits of adaptive FM systems on speech recognition in noise for listeners who use hearing aids. *Am J Audiol* 19(1):36–45
11. Wolfe J, Morais M, Schafer E, Mills E, Mu¨lder H, Goldbeck F, Marquis F, John A, Hudson M, Peters B, Lianos L (2013) Evaluation of speech recognition of cochlear implant recipients using a personal digital adaptive radio frequency system. *J Am Acad Audiol* 24(8):714–724
12. Wolfe J, Morais M, Schafer E, Mills E, Peters R, Lianos L, John A, Hudson M (2013) Better speech recognition with digital RF system in study of cochlear implants. *Hear J* 66(7):p24–p26
13. Wolfe J, Morais M, Schafer E, Agrawal S, Koch D (2015) Evaluation of speech recognition in cochlear implant recipients using adaptive, digital remote microphone technology and a speech enhancement sound processing algorithm. *J Amer Acad Audiol* (in press)
14. Govaerts P, Daemers K, Yperman M, De Beukelaer C, De Saegher G, De Ceulaer G (2006) Auditory speech sounds evaluation (AŞE): a new test to assess detection, discrimination and identification in hearing impairment. *Cochlear Implants Int* 7(2):92–106
15. Govaerts P, Vaerenberg B, De Ceulaer G, Daemers K, Schwauwers K (2010) Development of a software tool using deterministic logic for the optimization of cochlear implant processor programming. *Otol Neurotol* 31(6):908–918
16. Battmer RD, Borel S, Brendel M, Buchner A, Cooper H, Fielden C, Gazibegovic D, Goetze R, Govaerts P, Kelleher K, Lenartz T, Mosnier I, Muff J, Nunn T, Vaerenberg B, Vanat Z (2015) Assessment of 'Fitting to Outcomes Expert' FOX with new cochlear implant users in a multi-centre study. *Cochlear Implants Int*. 16(2):100–109
17. van Wieringen A, Wouters J (2005) LIST and LINT: Nederlandstalige spraakaudiometrielijsten met zinnen en getallen (AudioCD-SIG0501/2)
18. van Wieringen A, Wouters J (2008) LIST and LINT: sentences and numbers for quantifying speech understanding in severely impaired listeners for Flanders and the Netherlands. *Int J Audiol* 47(6):348–355
19. Signal Processing Information Base, Noise (1990) Speech babble. Institute for Perception-TNO, Soesterberg. <http://spib.linse.ufsc.br/noise.html>. Accessed 21 July 2013

20. Thibodeau L (2014) Comparison of speech recognition with adaptive digital and FM remote microphone hearing assistance technology by listeners who use hearing aids. *Am J Audiol* 23(2):201–210
21. Schafer EC, Wolfe J, Lawless T, Stout B (2009) Effects of FM receiver gain on speech-recognition performance of adults with cochlear implants. *Int J Audiol* 48(4):196–203
22. Wolfe J, Schafer E, Parkinson A, John A, Hudson M, Wheeler J, Mucci A (2013) Effects of input processing and type of personal frequency modulation system on speech-recognition performance of adults with cochlear implants. *Ear Hear* 34(1):52–62