

Schulte, M., Latzel, M., Heeren, J., & Vormann, M. (2019). Noise reduction systems in complex listening situations. *AudiologyOnline*, Article 25937. Доступно на сайте <http://www.audiologyonline.com>

Системы шумоподавления в сложной акустической обстановке

Михаэль Шульте (Michael Schulte), PhD, Маттиас Латцель (Matthias Latzel), PhD, Ян Хейрен (Jan Heeren),
Маттиас Форман (Matthias Vormann), PhD

Резюме

Понимание речи в шуме – сложная задача, особенно для людей с нарушениями слуха, потому что качество воспринимаемого ими акустического сигнала ниже, чем у нормально слышащих людей. Наибольшие проблемы возникают в сложной обстановке, например при общении с несколькими собеседниками в ресторане или кафе. В таких ситуациях на помощь могут прийти системы шумоподавления слуховых аппаратов. В данной работе сравнивали три высококачественных слуховых аппарата, использующих разные схемы шумоподавления, при пребывании в сложной акустической обстановке (с одним и тремя одновременно говорящими людьми).

Вначале сравнение слуховых аппаратов было выполнено на техническом уровне. Звук, записанный с использованием искусственной головы, проанализировали с применением фазовой инверсии для измерения прироста отношения сигнал-шум (ОСШ) по сравнению с ситуацией "без аппаратов". Затем оценивали влияние шумоподавления на разборчивость и обнаружение звуков в сложной акустической обстановке с привлечением слабослышащих испытуемых. Наконец, испытуемым предлагали субъективно оценить разборчивость речи и слуховое напряжение при парном сравнении различных систем шумоподавления.

Прирост ОСШ был различным и зависел от обстановки и используемой схемы шумоподавления. Технические показатели ОСШ не сказывались на результатах тестов с разделенным вниманием. Однако, на субъективном уровне отмечены очевидные различия между слуховыми аппаратами. Одна из моделей была отмечена как предпочтительная в отношении разборчивости речи и слухового напряжения.

Следует отметить, что все слуховые аппараты дают сравнимые результаты в тестах с разделенным вниманием. Информативность технического измерения ОСШ достаточно ограничена. Однако, на субъективном уровне явное предпочтение отдавалось слуховым аппаратам Phonak с пространственным шумоподавлением.

Введение

Abrams и Kihm в своем обзоре MarkeTrak IX отметили, что одной из основных причин неудовлетворенности слуховыми аппаратами является сложность общения в шумной обстановке, например, в ресторане (Abrams, Kihm, 2015). Слушание на фоне шума – важная и, в то же время, сложная задача. В литературе она упоминается как "феномен коктейльной вечеринки": подразумевается необходимость сосредоточения на одном акустическом объекте в сочетании с игнорированием остальных звуковых стимулов. Иными словами, необходимо сфокусироваться на одном объекте или звуковом потоке и отфильтровывать остальную информацию. Такая задача именуется избирательным вниманием. В своем исследовании мы решили усложнить ситуацию, добавив необходимость переключения внимания на других людей (т.н. "разделенное внимание"). Это типично, например, для общей беседы в ресторане, когда слушающий постоянно переключает внимание с одного говорящего на другого. При этом в начале беседы слушающий, как правило, делит свое внимание между всеми присутствующими, выбирая наиболее интересного собеседника или наиболее интересную тему беседы. Когда выбор сделан, слушающий концентрируется на одном собеседнике, отсекая остальные разговоры и фоновые шумы. Однако, при этом неплохо иметь возможность

слышать и остальных присутствующих, потому что кто-нибудь из них может захотеть привлечь внимание слушающего. При такой общей беседе слушающий постоянно переключает внимание с главного собеседника на остальных членов группы (Shinn-Cunningham, 2008). Это – двойная задача. Слушающий хочет следить за речью одного человека (задача 1), при этом имея возможность слышать других людей (задача 2). Зачастую это приводит к снижению общей эффективности общения, и мы хотели подробнее изучить функционирование испытуемых при решении такой двойной задачи. Предположительно, показатели производительности в каждой из одновременно выполняемых задач должны быть ниже, чем при раздельном их выполнении (Halverson, 2013; Wagener с соавт., 2018).

В сложной шумной обстановке, такой как ресторан или кафе, пользователям слуховых аппаратов необходимо более высокое отношение сигнал-шум (ОСШ), чтобы добиться такой же разборчивости речи, как у нормальнослышащих людей (Killion, 1997), поэтому одним из стоявших перед нами вопросов был: способны ли слуховые аппараты повысить ОСШ в таких условиях. Это очень важно, т.к. мы знаем, что способность понимать речь в шуме коррелирует с удовлетворенностью слуховыми аппаратами. Согласно MarkeTrak IX, наиболее удовлетворенные пользователи отмечают, что их слуховые аппараты успешно снижают уровень окружающего шума, комфортны при прослушивании громких звуков и способствуют локализации источников звуков (Abrams, Kihm, 2015).

Phonak использует систему адаптивных направленных микрофонов (UltraZoom), снижающую уровень поступающего сбоку и сзади шума при одновременном сохранении целевого речевого сигнала. Другие производители слуховых аппаратов применяют в этих целях альтернативные схемы пространственной обработки шума. В настоящем исследовании мы сравнили технические показатели ОСШ при использовании аппаратов разных производителей и без аппаратов ("объективное измерение ОСШ"). Эффективность аппаратов и результаты решения двойной задачи оценивали в "задаче с разделенным вниманием", а отзывы пользователей анализировали на этапе "субъективной оценки".

Предполагалось получить ответы на следующие вопросы:

- Насколько слуховые аппараты с системой пространственного шумоподавления повышают ОСШ?
- Какова эффективность слуховых аппаратов в сложной акустической обстановке, при наличии нескольких одновременно говорящих людей?
- Отличаются ли друг от друга различные системы пространственного шумоподавления с точки зрения слухового напряжения и разборчивости речи в сложной акустической обстановке?

Методика

Слуховые аппараты

Участникам исследования были подобраны слуховые аппараты Phonak Audéo B90-312T (в дальнейшем СА1), эквивалентные по изучавшимся показателям слуховым аппаратам Audéo Marvel, а также две модели премиальных слуховых аппаратов двух других производителей (в дальнейшем СА2 и СА3).

Имитация кафетерия

Измерения проводили в камере со свободным звуковым полем в Ольденбургском центре слуха (Германия). Длина камеры 3,5 м, ширина 5 м, высота 2,5 м. Искусственная голова (KEMAR) и участники исследования располагались в центре круга, образованного 12 динамиками (нижняя половина рис. 1). Эти динамики (Genelec 8030B) были подключены к цифро-аналоговым преобразователям RME ADI-8 DS.

Шум кафетерия был записан в кафетерии кампуса Wechloy Ольденбургского университета (Германия). Шум носил преимущественно диффузный характер с удаленными флюктуирующими компонентами. Воспроизведение шума и речевых сигналов осуществляли с помощью "Системы создания и имитации акустических сцен (TASCAR)" (Grimm с соавт., 2016). Моделировали акустику помещения кафетерия и применяли ее к речевым сигналам. Для имитации ранних отражений диффузной реверберации применяли модель минимого источника (image-source model) первого порядка.

На рис. 1 представлена имитация кафетерия (вверху) и расположение 12 динамиков (внизу). "Керстин" (условный испытуемый) сидела в кафетерии и разговаривала с тремя людьми – одной женщиной (0°) и двумя

мужчинами (-60° и $+60^\circ$). Эта ситуация отражена в нижней части рис. 1: красными точками отмечены три собеседника "Керстин", зелеными и желтыми точками – 4 дополнительных говорящих (помеха). Диффузный шум кафетерия воспроизводился всеми 12 динамиками. Расстояние между каждым из динамиков и центром головы слушающего составляло 128 см.

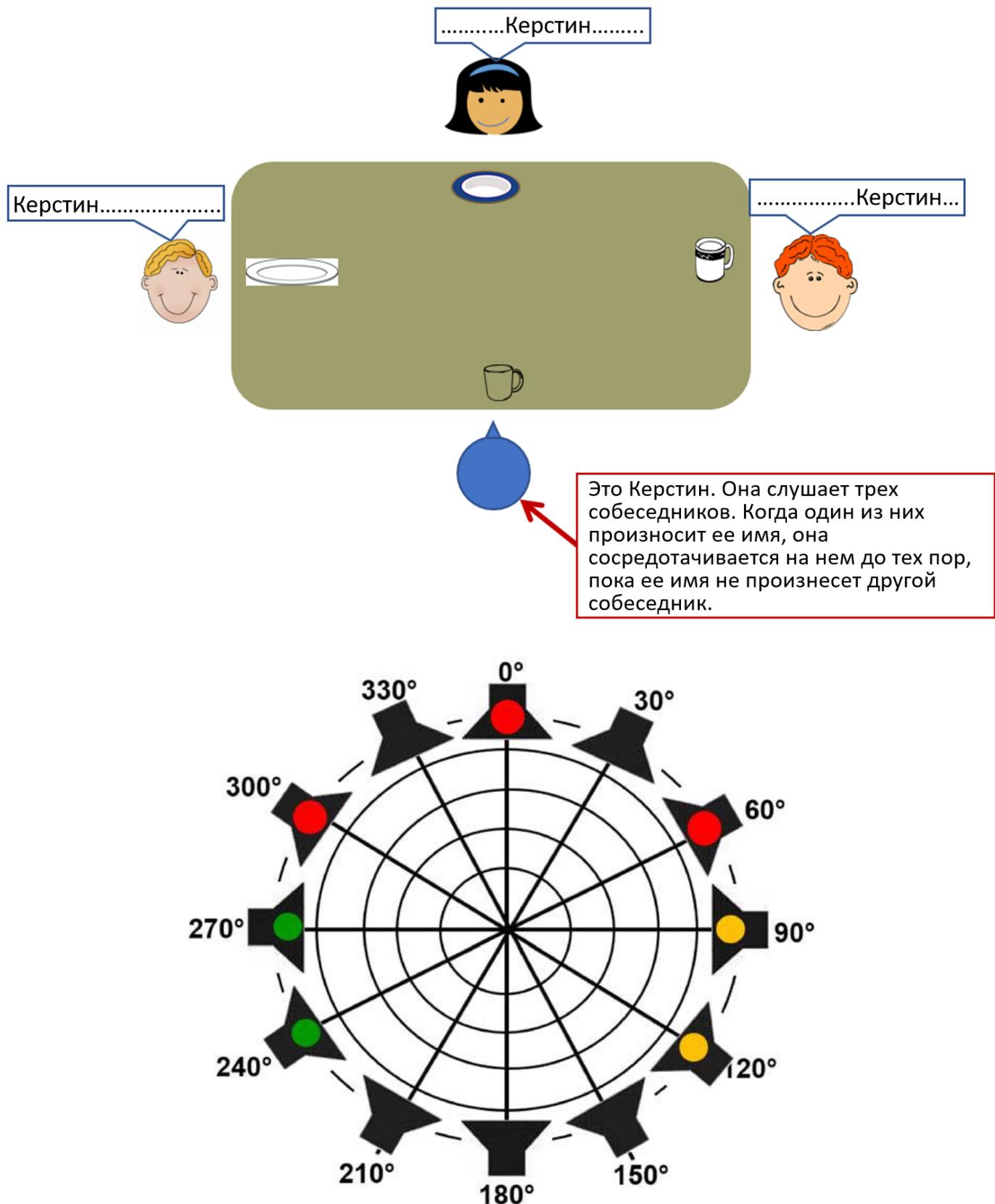


Рис. 1: Имитация ситуации "коктейльная вечеринка". Из всех динамиков поступает диффузный шум кафетерия. Из динамиков, отмеченных желтыми и зелеными точками, поступают голоса нецелевых говорящих. Из динамиков, отмеченных красными точками (-60° , 0° и $+60^\circ$), поступают голоса целевых говорящих. Речевой материал заимствован из теста разборчивости фразовой речи OLSA.

Объективное измерение ОСШ

Для измерения ОСШ использовался метод фазовой инверсии, впервые описанный Hagerman и Olofsson (2004). Поскольку основная задача слуховых аппаратов состоит в повышении ОСШ в сложной акустической обстановке, мы сравнивали результаты использования различных систем шумоподавления с показателями, полученными без аппаратов.

Измерения проводили, записывая широкополосный выход слуховых аппаратов, надетых на манекен (искусственная голова G.R.A.S. KEMAR с торсом, имитаторами уха и антропометрическими ушными раковинами KB5000/KB5001) (рис. 2). Одна запись представляла собой исходную сцену "речь в шуме" (A), а вторая – исходный речевой сигнал в сочетании со сдвинутым по фазе (180°) шумом (B). Сложение обеих записей [$\text{РЕЧЬ} = (A+B)/2$] устраняет шум, оставляя речь. Вычитание записей [$\text{ШУМ} = (A-B)/2$] устраниет речь, оставляя шум. Сопоставление результатов (РЕЧЬ и ШУМ) позволяет вычислить ОСШ на выходе слуховых аппаратов. Этот параметр можно сравнить с ОСШ на входе аппаратов или с ОСШ без аппаратов (Bray с соавт., 2005). В настоящей работе мы сравнивали ОСШ на выходе слуховых аппаратов с ситуацией "без аппаратов". Важной предпосылкой такого подхода является отключение компрессии в слуховых аппаратах. Это означает, что результаты измерения ОСШ нельзя непосредственно сравнивать с реальными условиями.



Рис. 2: Антропометрическая ушная раковина манекена KEMAR с надетым на нее слуховым аппаратом (используется мощный стандартный вкладыш Power Dome).

Настройка. Для выполнения объективных измерений слуховые аппараты настраивали по формуле NAL-NL2 в куплере с использованием системы Siemens Unity 2. Тестовым сигналом служил международный стандартный речевой сигнал ISTS (Holube с соавт., 2019). Аудиограмма соответствовала туюухости N3-N4 по классификации Bisgaard с соавт. (2010). Для измерения ОСШ использовалась линейная настройка. Необходимо было добиться одинакового усиления во всех слуховых аппаратах. Поэтому аппараты настраивали по несколько раз, вплоть до приемлемого совпадения всех кривых усиления. Для акустического сопряжения аппаратов с искусственной головой применяли двойные стандартные вкладыши (рис. 2).

Записи. Для записей использовали непрерывную речь. Один мужской и два женских голоса предъявляли из динамиков, расположенных по азимутам -60° , 0° и $+60^\circ$ (красные точки на рис. 1). Изучали два варианта ОСШ: (1) одинаковый уровень речи и шума (Р65Ш65); (2) уровень речи на 10 дБ выше уровня шума (Р75Ш65). В ситуации Р65Ш65 речь каждого из трех целевых собеседников воспроизводили на уровне 65 дБ. В результате общий уровень речи целевых собеседников повышался приблизительно на 4,8 дБ.

Задача с разделением внимания

Испытуемые. В измерениях эффективности слуховых аппаратов и парных субъективных сравнениях участвовали 30 опытных пользователей слуховых аппаратов (рис. 3). 4 испытуемых пользовались аппаратами производителя CA1, 10 – аппаратами производителя CA2, а 6 – аппаратами производителя CA3. Остальные

10 испытуемых пользовались слуховыми аппаратами других производителей. Возраст испытуемых составлял от 44 до 86 лет (средний возраст 72,6 года). Когнитивные показатели всех испытуемых по данным теста DemTect (Kalbe с соавт., 2004) были в норме ($m = 15,8$; $SD = 2,0$; $min = 12$). У всех отмечалась нормальная подвижность головы.

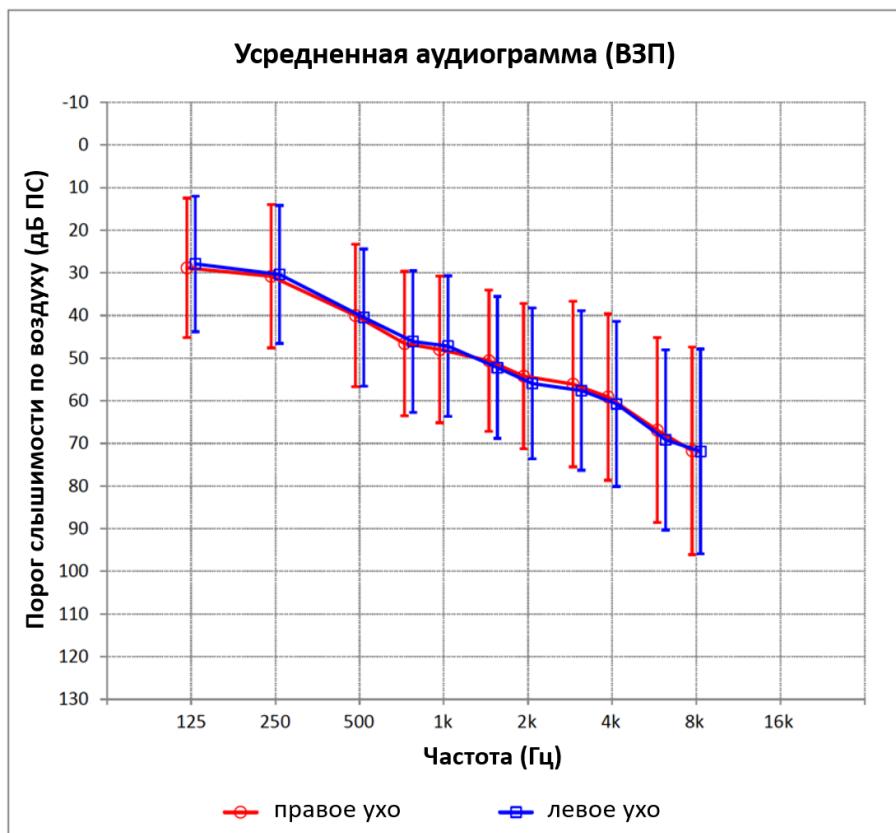


Рис. 3: Средняя потеря слуха у 30 участников исследования (планки погрешности соответствуют стандартному отклонению).

Настройка. Слуховые аппараты настраивали по предлагаемой по умолчанию формуле производителя. Точная настройка выполнялась лишь по мере необходимости и ограничивалась изменением общего усиления. Устройства Phonak были настроены на автоматическую работу – AutoSense OS. Описанная ниже акустическая сцена классифицировалась аппаратами как "речь в шуме", что сопровождалось активацией UltraZoom. Аппараты конкурентов также были настроены на автоматическую работу. Во всех случаях применяли закрытые индивидуальные вкладыши SlimTip.

Задача. В тесте с разделенным вниманием целевые говорящие попеременно произносили фразы из Ольденбургского фразового теста (OLSA), представляющего собой матричный тест разборчивости речи на немецком языке (Wagener с соавт., 1999). Фразы OLSA построены по принципу "имя-глагол-числительное-прилагательное-предмет" и насчитывают по 10 слов в каждой категории. Триггером привлечения внимания испытуемого служило имя "Керстин". Иными словами, произнесение слова "Керстин" означало, что внимание должно быть переключено на произнесшего его говорящего, до тех пор, пока оно не будет произнесено другим говорящим. Испытуемым предлагалось немедленно повторить последнее слово каждой фразы, произнесенной целевым говорящим. Попеременное воспроизведение фраз отдельными говорящими перекрывалось во времени с наложением на 0,6 с. В результате триггер "Керстин" и целевое слово предшествующей фразы произносились одновременно, что соответствует условиям задачи с разделенным вниманием.

Этот же сценарий использовался при раздельном выполнении вышеописанных задач. Одна задача состояла в повторении последнего слова каждой фразы, а вторая – в переключении внимания на говорящего, произнесшего слово-триггер. Сравнение результатов, полученных при раздельном и объединенном решении задач, позволяло оценить влияние разделения внимания на распознавание речи.

Для имитации первого собеседника-мужчины (азимут -60°) использовалась запись стандартного теста OLSA для мужского голоса (Wagener с соавт., 1999); динамик, имитирующий собеседницу-женщину (азимут 0°), воспроизводил стандартный речевой материал OLSA для женского голоса (Wagener с соавт., 2014), а для имитации второго собеседника-мужчины (азимут $+60^\circ$) использовали многоязычный материал OLSA (Hochmuth с соавт., 2015). Речь каждого говорящего воспроизводилась на номинальном уровне 68 дБ. Парадигма подразумевала равную исходную разборчивость речи каждого говорящего. Уровень шума кафетерия также составлял 68 дБ.

В ходе выполнения задачи с разделенным вниманием испытуемые сидели на вращающемся офисном стуле в центре круга, образованного динамиками. Экспериментатор сидел позади динамика, расположенного по азимуту 0° , и фиксировал ответы испытуемых с помощью сенсорного экрана.

Субъективные оценки

Тем же испытуемым предлагалось оценить различные слуховые аппараты путем парного сравнения по показателям разборчивости речи, слухового напряжения и общего предпочтения. В этом тесте использовалась концепция виртуального слухового аппарата (Helbling с соавт., 2013). Эта концепция подразумевает два этапа: (1) запись *in situ* выходного сигнала трех сравнивавшихся слуховых аппаратов в ушах участников исследования (настройка аппаратов описана в предыдущем разделе); (2) прослушивание этих записей испытуемыми с помощью внутриушных телефонов.

Задача испытуемых заключалась в попарном сравнении слуховых аппаратов. Оценивались следующие показатели: субъективная разборчивость речи ("В каком слуховом аппарате вы лучше понимаете собеседницу-женщину?"), слуховое напряжение ("В каком слуховом аппарате вам сложнее следить за речью собеседницы-женщины?"), общее предпочтение ("Какой слуховой аппарат вы предпочитаете?"). Все эти показатели относились только к женскому голосу (азимут 0°). Для оценки избирательного внимания использовали записи, сделанные при расположении лицом по азимуту 0° (рис. 4, слева). Для оценки разделенного внимания использовали записи, сделанные при расположении лицом по азимуту -60° (рис. 4, справа). Последний вариант следует расценивать как грубое приближение, потому что, несмотря на расположение лицом к источнику мужского голоса, испытуемые заранее знали, что им надо оценивать только женский голос. Поэтому им не приходилось разделять внимание; они могли сразу сфокусироваться в нужном направлении.

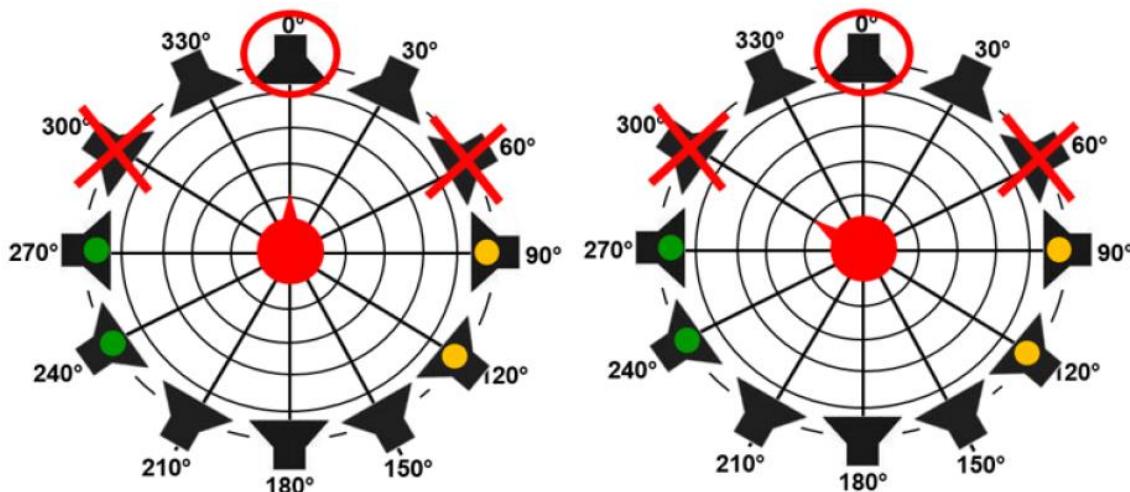


Рис. 4: Схема проведения теста с парными сравнениями. Шум кафетерия воспроизводился одновременно всеми 12 динамиками. Кроме того, речевой материал OLSA воспроизводился динамиком, отмеченным красным крестом (мужской голос, играет роль помехи) или кружком (женский голос, целевой сигнал). Слева: проверка избирательного внимания – испытуемый сидит лицом к "женщине" (азимут 0°) и фокусируется на ее голосе. Справа: проверка разделенного внимания – испытуемый сидит лицом к "мужчине" (азимут -60°), но фокусируется на "женщине" (азимут 0°). Зелеными и желтыми точками обозначены дополнительные отвлекающие говорящие.

Результаты

Объективное измерение ОСШ

на рис. 5 представлены результаты объективного измерения ОСШ. Для количественной оценки эффекта обработки сигнала слуховыми аппаратами ОСШ усиленных сигналов сравнивали с записью неусиленных сигналов, выполненных с использованием искусственной головы. Если фронтальный динамик используется в качестве целевого, а боковые динамики – в качестве источников помехи, эффективность составляет около 1,5 дБ для СА1 и СА3. Для СА2 эффективность была отрицательной, т.е. этот слуховой аппарат фактически снижает ОСШ исходного сигнала. Объяснение таких результатов: подавление акустической энергии динамиков, расположенных по азимутам -60° и +60°, обусловлено шириной луча направленности, используемого алгоритмом пространственного шумоподавления.

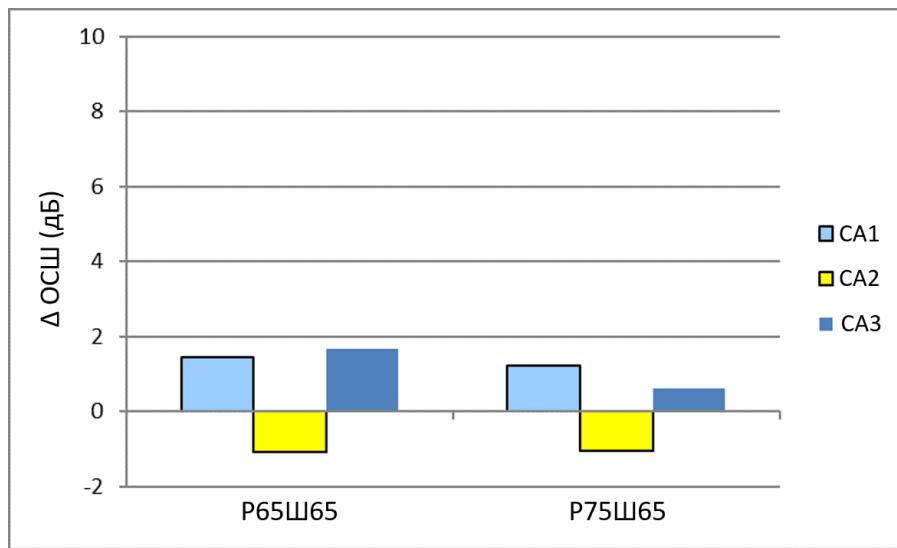


Рис. 5: Результаты измерения ОСШ для целевого фронтального динамика (0°). Приведены результаты для двух условий – Р65Ш65 и Р75Ш65. ОСШ представлено в виде разности измерений, выполненных с аппаратами и без аппаратов.

Если все три говорящие рассматриваются как источники целевых сигналов, прирост ОСШ для каждого из трех слуховых аппаратов оказывается более высоким (рис. 6). Любопытно, что при этом увеличивается не только абсолютная эффективность, но и разность эффективности отдельных аппаратов. На рис. 5 разность между наибольшим и наименьшим приростом ОСШ составляла около 2,5 дБ, тогда как на рис. 6 она вдвое больше (около 5 дБ).

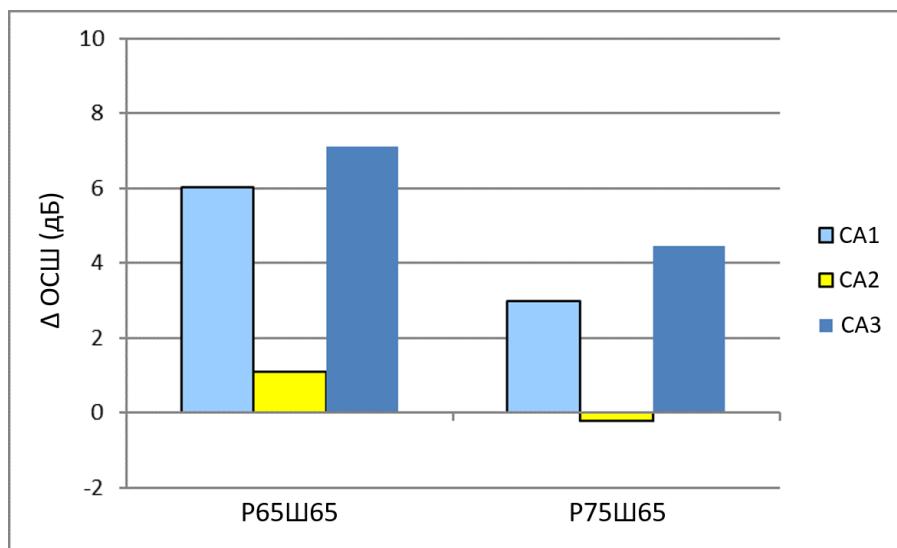


Рис. 6: Результаты измерения ОСШ для трех целевых динамиков (-60°, 0° и +60°). Приведены результаты для двух условий – Р65Ш65 и Р75Ш65. ОСШ представлено в виде разности измерений, выполненных с аппаратами и без аппаратов.

Задача с разделением внимания

Измерение ОСШ показало технические различия между отдельными слуховыми аппаратами. Возникает вопрос, влияют ли эти различия на эффективность аппаратов в реальной обстановке? Для ответа на него мы воспользовались парадигмой разделенного внимания.

На рис. 7 представлены результаты двух одиночных задач – "обнаружение" и "распознавание речи". В задаче "обнаружение" испытуемые должны были прислушиваться к трем говорящим, стараясь определить, с какого направления они услышали слово-триггер "Керстин". Во второй задаче ("распознавание") они должны были сконцентрироваться на одном говорящем и повторить последнее слово каждой произнесенной фразы. Согласно полученным результатам, все испытуемые справились с этими задачами почти на "отлично", вне зависимости от используемых слуховых аппаратов. Статистически значимых различий не было.

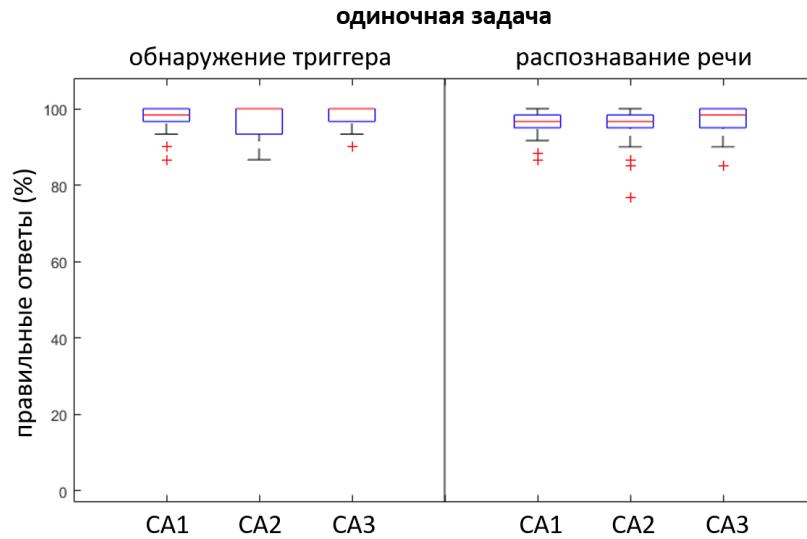


Рис. 7: Результаты выполнения одиночных задач (графики с медианами и межквартильными диапазонами). На левом графике представлены результаты обнаружения слова-триггера (%), а на правом – доля правильно распознанных слов (%).

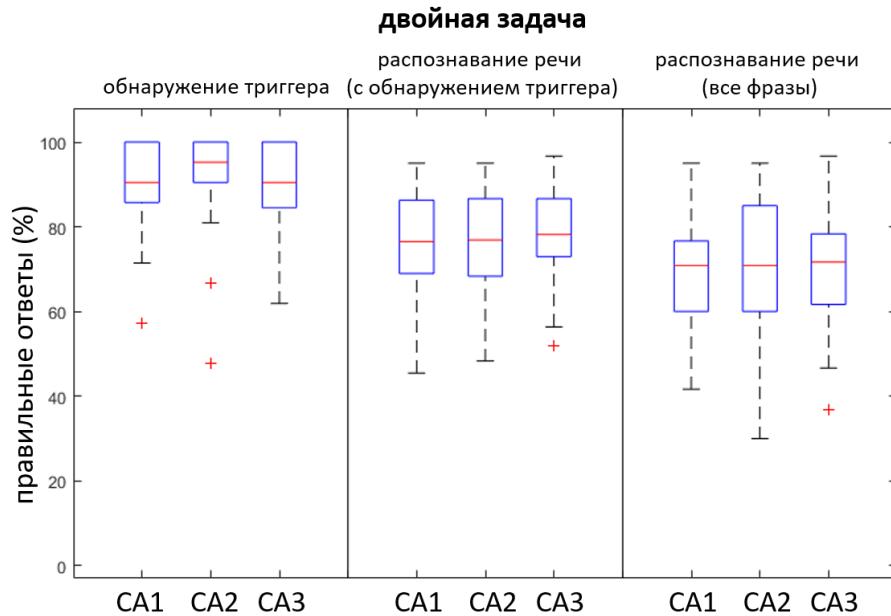


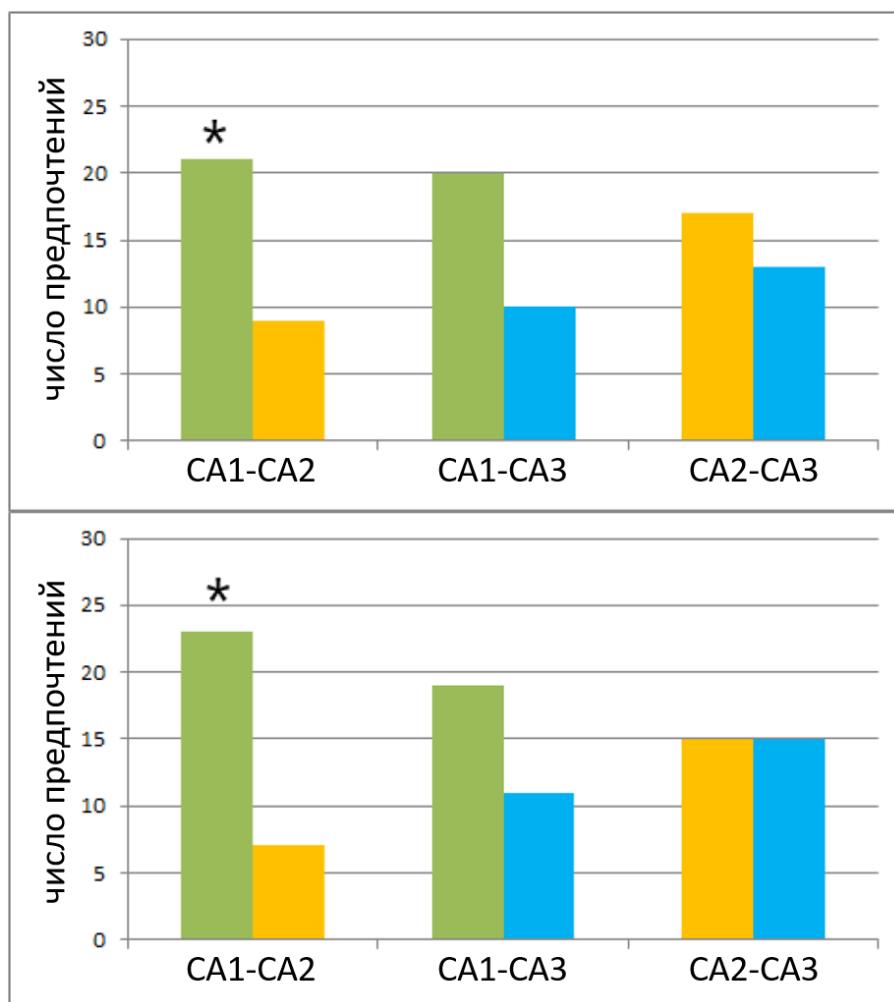
Рис. 8: Показатели обнаружения и распознавания при выполнении двойной задачи. Слева представлены результаты обнаружения (% правильных обнаружений). На среднем графике показан % распознанных слов при одновременном правильном обнаружении триггера. Справа представлена общая доля правильно распознанных слов (%), включая случаи с упущенными триггерами.

На рис. 8 представлены данные, относящиеся к двойной задаче. Как и при выполнении одиночной задачи, большинство участников исследования испытывали лишь незначительные затруднения при обнаружении

триггера. Большие отличия от результатов выполнения одиночной задачи касаются распознавания речи. В одиночной задаче доля правильных ответов приближалась к 100%, тогда как в двойной задаче (с одновременным обнаружением триггера) разброс составил 46-96%, с медианой около 80%. Общие показатели разборчивости речи, включая неверные ответы, связанные с упущенными триггерами, варьировали от 30% до 96%, с медианами в диапазоне 70-72%. Статистически значимых различий между отдельными моделями слуховых аппаратов не отмечено.

Субъективные оценки

Тестирующие устройства попарно сравнивались в абсолютно случайном порядке (как в отношении составления отдельных пар, так и в отношении последовательности предлагавшихся для сравнения моделей). На рис. 9 представлены результаты субъективной оценки разборчивости речи. CA1 оценивался статистически значимо выше CA2 в категориях избирательного и разделенного внимания. Различия CA1 и CA3 в обеих категориях внимания не были статистически значимыми.



*Рис. 9: Субъективная разборчивость речи (парные сравнения), представленная в виде числа испытуемых, предпочитавших соответствующий слуховой аппарат в предложенной для оценки паре. Верхний график относится к избирательному вниманию (направление головы 0°), а нижний график отражает разделенное внимание (направление головы -60°). * = статистически значимое различие ($p<0,05$).*

На рис. 10 представлены результаты парных сравнений слуховых аппаратов по показателю слухового напряжения. CA1 требовал гораздо меньшего слухового напряжения, чем оба других устройства, при прослушивании фронтального говорящего (в ситуации избирательного внимания). При прослушивании говорящего, расположенного под углом -60° (ситуация разделенного внимания), CA1 также требовал меньшего слухового напряжения, чем два других устройства, но статистически значимое различие отмечено только при сравнении CA1 с CA3.

Результаты оценки общего предпочтения представлены на рис. 11. Различия не были статистически значимыми, но, по крайней мере, на описательном уровне большинство испытуемых предпочли CA1.

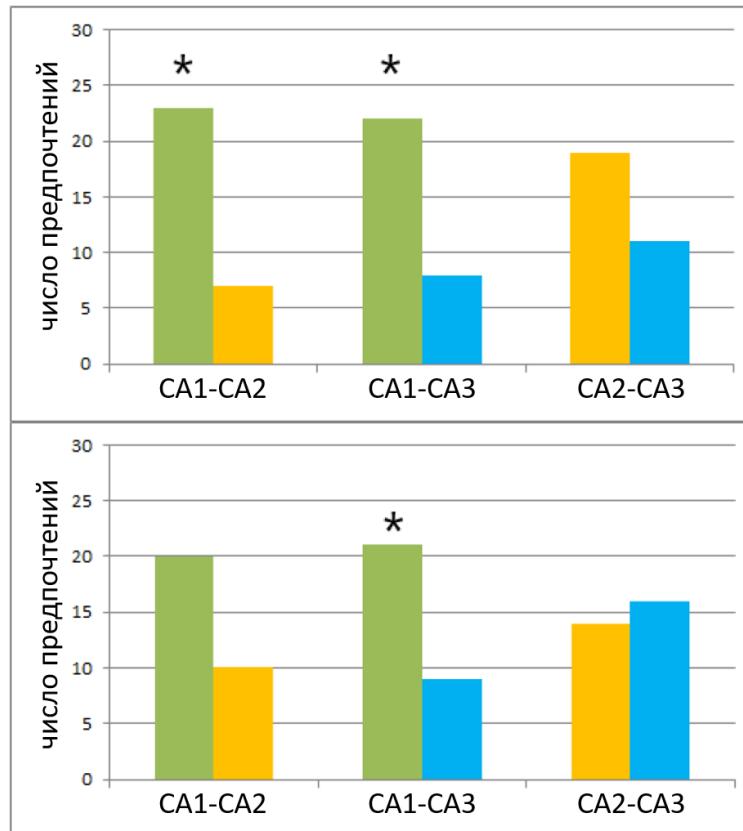


Рис. 10: Слуховое напряжение (парные сравнения), представленное в виде числа испытуемых, предпочитавших соответствующий слуховой аппарат в предложенной для оценки паре. Верхний график относится к избирательному вниманию (направление головы 0°), а нижний график отражает разделенное внимание (направление головы -60°). * = статистически значимое различие ($p<0,05$).

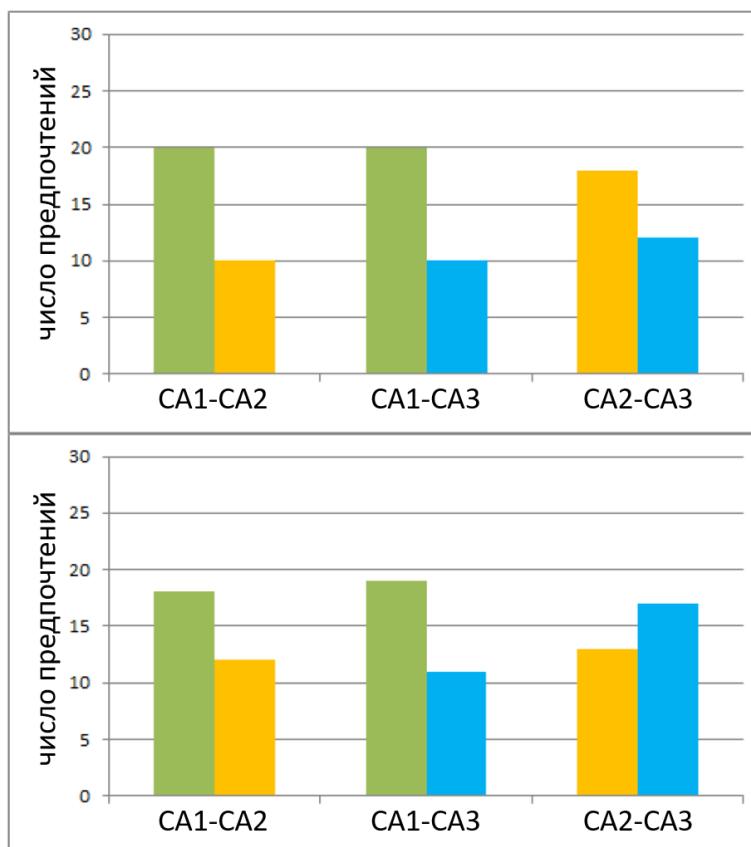


Рис. 11: Общее предпочтение (парные сравнения), представленное в виде числа испытуемых, предпочитавших соответствующий слуховой аппарат в предложенной для оценки паре. Верхний график относится к избирательному вниманию (направление головы 0°), а нижний график отражает разделенное внимание (направление головы -60°). Статистически значимых различий ($p<0,05$) не выявлено.

Обсуждение

Цель данной работы состояла в сравнении схем шумоподавления, используемых в трех различных премиальных слуховых аппаратах. Сравнение проводилось на техническом уровне, по показателям эффективности, а также на основании субъективных оценок. Важным аспектом исследования был выбранный звуковой сценарий, а именно кафетерий/ресторан как одна из наиболее проблемных ситуаций для людей с нарушениями слуха, даже пользующихся слуховыми аппаратами. Типичные уровни звука в этой обстановке описаны Hodgson с соавт. (2007). Авторы измерили эквивалентные уровни звукового давления в 10 предприятиях общественного питания: разброс составил от 55,3 до 74,5 дБ(А). В студенческом кафетерии уровень шума достигал 69,8-70,4 дБ(А).

Объективные измерения показали, что прирост ОСШ при использовании слуховых аппаратов достаточно ограничен, если источниками помех являются два боковых динамика, расположенных по азимутам -60° и +60°. Системы пространственного шумоподавления не способны полностью подавить такую помеху. У одного из слуховых аппаратов фактический прирост ОСШ даже оказался негативным, т.е. этот аппарат снижал ОСШ по сравнению с ситуацией "без аппаратов". Однако, если все три говорящих являлись источниками целевого сигнала, пространственное шумоподавление оказывалось намного более эффективным (повышение ОСШ достигало 5 дБ). Даже в случае изначально положительного ОСШ (правая часть рис. 6 – Р75Ш65) шумоподавление еще больше повышает ОСШ, что может оказаться очень полезным с точки зрения снижения слухового напряжения в типичных ситуациях.

Важной предпосылкой измерения ОСШ, согласно Hagerman и Olufsen (2004) и Bray и Nilson (2005), является отключение компрессии в слуховых аппаратах. При этом условия измерения ОСШ становятся достаточно искусственными, а результаты не могут быть непосредственно распространены на реальную обстановку. В результате объективные и субъективные оценки могут не совпадать, т.к. субъективные тесты должны проводиться в условиях активированной компрессии из-за суженного динамического диапазона испытуемых. Именно поэтому при проведении субъективных тестов мы настраивали слуховые аппараты в соответствии с используемыми по умолчанию формулами производителей.

В отличие от объективных измерений ОСШ, показатели обнаружения и распознавания при использовании разных слуховых аппаратов существенно не различались. Очевиден дефицит показателей при сравнении результатов выполнения одиночной и двойной задачи. Даже при правильном обнаружении слов-триггеров, показатель распознавания в условиях двойной задачи снижался приблизительно на 20%. Результаты позволяют предположить, что слабослышащим людям гораздо сложнее следить за беседой при раздвоении внимания и невозможности сосредоточиться на одном говорящем. Показатели выполнения двойной задачи были одинаковыми при использовании всех трех моделей слуховых аппаратов. Однако, может оказаться, что использовавшаяся методика недостаточно чувствительна для выявления различий между слуховыми аппаратами, т.к. в задаче с разделенным вниманием испытуемым предлагалось запомнить и повторить только последнее слово каждой услышанной фразы.

Субъективные предпочтения участников исследования были очевидностью отданы слуховым аппаратам Phonak (CA1) по показателям разборчивости речи, слухового напряжения и общего предпочтения. Эти результаты невозможно непосредственно сравнить с показателями, полученными при решении задачи с разделенным вниманием. Однако, можно вполне аргументировано предположить, что аппараты Phonak достаточно эффективны при расположении говорящего как перед слушающим, так и сбоку от него.

Заключение

Объективное измерение ОСШ показало достаточно большие различия между слуховыми аппаратами отдельных производителей. Однако, в задаче с разделенным вниманием эффективность всех устройств была вполне сопоставима. Вероятно, информативность технических измерений ОСШ ограничена из-за необходимости использования линейной настройки слуховых аппаратов. Снижение эффективности аппаратов при выполнении двойной задачи приблизительно на 20% свидетельствует о необходимости уделения большего внимания этому аспекту в будущем. Любопытно, что на субъективном уровне различия между аппаратами были более очевидны. Явное предпочтение отдавалось слуховым аппаратам Phonak, использующим пространственное шумоподавление.

Благодарность

Авторы признательны Мюге Кайа из Ольденбургского центра слуха за ее помощь в проведении экспериментов.

Заявление о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Однако, просим учесть, что использовавшиеся в данном исследовании алгоритмы являются неотъемлемой составляющей коммерчески доступных слуховых аппаратов. Работа выполнена при финансовой поддержке Sonova AG, а один из соавторов (МЛ) является сотрудником Phonak AG.

Литература

- Abrams, H. B., & Kihm, J. (2015). An introduction to MarkeTrak IX: A new baseline for the hearing aid market. *Hearing Review*, 22(6), 16.
- Bisgaard, N., Vlaming, M. S., & Dahlquist, M. (2010). Standard audiograms for the IEC 60118-15 measurement procedure. *Trends in amplification*, 14(2), 113-120.
- Grimm, G., Kollmeier, B., & Hohmann, V. (2016). Spatial acoustic scenarios in multichannel loudspeaker systems for hearing aid evaluation. *Journal of the American Academy of Audiology*, 27(7), 557-566.
- Hagermann B., Olufsen A. (2004). A Method to Measure the Effect of Noise Reduction Algorithms Using Simultaneous Speech and Noise. *Acta Acustica united with Acustica* 90(2):356-361
- Bray, V., & Nilsson, M. (2005). A new definition for modern hearing aids. *AudiologyOnline*, Article 1036. Retrieved from <http://www.audiologyonline.com>
- Helbling T., Vormann M., & Wagener K. (2013). Speech priority noise reduction: A digital noise reduction preference study. *Hearing Review*, 10(11), 34-43.
- Hochmuth, S., Jürgens, T., Brand, T., & Kollmeier, B. (2015). Talker- and language-specific effects on speech intelligibility in noise assessed with bilingual talkers: Which language is more robust against noise and reverberation? *International Journal of Audiology*, 54(2), 23-34.
- Hodgson, M., Steininger, G., & Razavi, Z. (2007). Measurement and prediction of speech and noise levels and the Lombard effect in eating establishments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(4), 2023-2033.
- Kalbe, E., Smith, R., Passmore, A. P., Brand, M., & Bullock, R. (2004). DemTect: a new, sensitive cognitive screening test to support the diagnosis of mild cognitive impairment and early dementia. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 19(2), 136-143.
- König, G., & Appleton, J. (2014). Improvement in speech intelligibility and subjective benefit with binaural beamformer technology. *Hearing Review*, 21(11), 40-42.
- Shinn-Cunningham, B. (2008). Objective-based auditory and visual attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(5), 182-186.

Wagener, K. C., Hochmuth, S., Ahrlich, M., Zokoll, M. A., & Kollmeier, B. (2014). Der weibliche Oldenburger Satztest 17th annual conference of the DGA Oldenburg, CD-Rom.

Wagener, K. C., Brand, T., & Kollmeier, B. (1999). Entwicklung und Evaluation eines Satztests in deutscher Sprache III: Evaluation des Oldenburger Satztests. *Z Audiology*, 38(3), 86-95

Wagener, K. C., Vormann, M., Latzel, M., & Mülder, H. E. (2018). Effect of Hearing Aid Directionality and Remote Microphone on Speech Intelligibility in Complex Listening Situations. *Trends in hearing*, 22