Музыка и кохлеарные импланты

Музыка – сложный звуковой сигнал. Музыка воспринимается и подвергается сложной обработке со стороны органов слуха и человеческого восприятия. Сегодня многие производители кохлеарных имплантов заявляют, что их импланты обеспечивают своим владельцам точное и приятное восприятие музыки. Однако на результат в данном случае влияет целый ряд факторов, в число которых входит количество и состояние сохранных волосковых клеток, характеристики импланта и звукового процессора по обработке сигнала, правильное введение в улитку электродной решетки, а также психосоциальные факторы, такие, как наличие у реципиента слуховой памяти и/или опыта прослушивания музыки, тип музыки. И это далеко не полный перечень. Понятно, что для каждого пациента требуется индивидуальный подход.

Корпорация Cochlear участвует во многих совместных глобальных исследованиях, посвященных восприятию музыки с помощью кохлеарной имплантации. В этой статье представлены результаты некоторых исследований, а также обзор прошедшего в 2006 году Вступительного симпозиума по восприятию музыки с помощью кохлеарной имплантации.

Примечание. Обратите внимание: отсутствие уточнений означает, что результаты исследований распространяются на кохлеарные импланты сразу трех производителей (Cochlear Limited, Med-El, Advanced Bionics). Кроме того, представленные данные не относятся к бинауральным владельцам кохлеарных имплантов.

Хотя кохлеарный имплант был разработан в первую очередь для того, чтобы улучшать речевую коммуникацию, он может улучшать и восприятие музыки для многих своих владельцев. Гфеллер обнаружила, что удовольствие от прослушивания музыки после имплантации сильно отличается от пациента к пациенту.

Эта информационная статья для специалистов содержит обзор новейших исследований, посвященных изучению восприятия музыки и отношению к ней пользователь КИ. Первая часть представляет собой резюме Вступительного симпозиума по восприятию музыки с помощью КИ, прошедшего в октябре 2006 г. в Сиэтле. Вторая часть описывает некоторые европейские исследования, изучающие влияние бимодальной стимуляции и изменения входного динамического диапазона на восприятие музыки.

Третий раздел содержит обзор работы, проведенной в университете Мельбурна (Австралия), в ходе которой было исследовано влияние бимодальной стимуляции на восприятие музыки у взрослых и детей.

Вступительный симпозиум по восприятию музыки с помощью КИ

17 октября 2006 г. корпорация Cochlear в сотрудничестве с Центром исследований слуха имени Merrill Bloedel (штат Виржиния) и отделением отоларингологии Вашингтонского университета (Сиэтл, Вашингтон) провела Вступительный симпозиум по восприятию музыки с помощью КИ. Это резюме включает в себя основные работы, представленные на конференции.

Восприятие музыки и ее оценка

Д-р Кейт Гфеллер из университета Айовы высказала ключевой постулат: «Окружающие факторы и индивидуальные различия – вот что влияет на восприятие музыки и удовольствие от ее прослушивания для владельцев КИ». Гфеллер сравнила два комплексных сигнала: музыку и устную речь.

Согласно определению, музыка – не просто мелодия; она несет в себе определенный смысл, внутреннюю тематическую структуру, а также информацию, которая охватывает культурные и индивидуальные ассоциации человека, возникающие в процессе прослушивания музыки. Некоторые пользователи КИ могут испытывать трудности восприятия или интерпретации отдельных музыкальных аспектов из-за плохого звукового разрешения, но они могут воспользоваться вспомогательной информацией, чтобы получать больше наслаждения от прослушивания музыки.

В процессе исследований, в которых участвовали свыше 200 владельцев КИ, Гфеллер и ее коллеги разбили 17 прогнозирующих переменных на три группы: технические факторы, индивидуальные характеристики и жизненный опыт. Эти факторы изучались по отношению к разным независимым музыкальным переменным, таким, как оценка высоты тона, распознавание мелодии с текстом и без и оценка качества звучания.

Полученные результаты показали, что элементы восприятия и оценки сильно отличаются и формируют два разных аспекта прослушивания музыки. Следовательно, прогнозирующие факторы по-разному влияют на каждые конкретные особенности восприятия. Например, использование СА оказалось важным прогнозирующим фактором влияния на реальное восприятие музыки.

Было также обнаружено, что способность к восприятию речи, измеренная с помощью речевого теста HINT (тест слуха в присутствии шума), оказывала заметное влияние на узнавание песенной мелодии с текстом. Кроме того, как официальные занятия музыкой (в школе и за ее пределами), так и количество музыки, прослушиваемой после кохлеарной имплантации, влияли на показатели точности восприятия.

Гфеллер кратко охарактеризовала пользу от занятий музыкой. Трехмесячная программа тренинга улучшила распознавание и оценку тембра инструментов. Она рекомендовала использовать тренинг и длительное прослушивание музыки для сокращения периода привыкания к КИ. В результате повторяющегося воздействия мозг может заполнять пробелы в музыке и создавать дополнительные слуховые ощущения. В первую очередь это отностися к людям, оглохшим после овладения речью, потому что у них имеется внутреннее представление музыки, основанное на прошлом опыте и памяти.

Вашингтонский университет – клинический протокол оценки звучания музыки

От имени организатора симпозиума д-р Джей Рубинштейн представил Клинический протокол оценки звучания музыки Вашингтонского университета (UW-CAMP). Он составляется независимо и содержит три теста, оценивающих основные показатели, связанные с восприятием музыки:

Жестко отобранный мелодический тест с ограниченным набором временных символов.

Жестко отобранная идентификация музыкального инструмента (тембра).

Дифференциация высоты тона; слушатель определяет, какой из двух предъявленных тонов выше.

Результаты опроса 27 пользователей КИ, прошедших тест UW-CAMP и другие психофизические измерения в виде тестов на временное и спектральное разрешение и понимание речи, говорят о том, что восприятие речи в шуме и восприятие музыки имеют прямую взаимосвязь.

Корпорация Cochlear планирует провести широкомасштабное клиническое исследование с целью определения возможности использования теста UW-CAMP для клинических измерений восприятия музыки у пользователей КИ.

Субъективная оценка слухового восприятия в реальных условиях

Д-р Рич Тайлер и его коллеги из университета Айовы разрабатывают клиническое средство, которое позволит пользователям КИ оценивать четкость разнообразных звуков реального мира, включающих детские и взрослые голоса, речь в шумной обстановке, звуки повседневной жизни и музыку. После подачи каждого звука у испытуемого спрашивают, что он слышит, и просят оценить четкость образца по 100-балльной шкале. Полученные результаты говорят о том, что оценки четкости выше при бимодальной стимуляции (имплант вместе со СА), чем при использовании одного КИ. Последующие оценки восприятия речи в тишине, в шумной обстановке повседневных звуков и музыки дают различные результаты. Исследования, сравнивавшие оценки разных стратегий обработки сигнала, показали, что этот тест дает разные результаты в зависимости от стратегии и отслеживает временные изменения в восприятии. Эта серия исследований кажется многообещающей, так как она говорит о том, что со временем слушатели смогут воспринимать музыку четко. Использование оценок четкости, возможно, позволит внедрять изменения в обработку звука, положительно влияющие на восприятие речи и музыки.

Восприятие музыки и занятия музыкой у детей

Пока еще проведено мало исследований, посвященных способности детей к восприятию музыки с помощью КИ. Тара Вонгпайсал, аспирант Торонтского университета в Канаде, подготовила сообщение о серии таких исследований, в которых приняли участие 10 детей и подростков с КИ и десять их сверстников с нормальным слухом в качестве контрольной группы. Первое исследование было посвящено распознаванию знакомой популярной песни в трех разных акустических условиях: оригинальная запись, оригинальная запись минус текст (в виде караоке), и исполнение мелодии на пианино. Дети с нормальным слухом и дети с КИ показали одинаковые результаты, слушая оригинал, но в отсутствие текста результаты детей с КИ ухудшились; они понизились еще больше, когда их попросили узнать песню, сыгранную на пианино. В то же время дети с нормальным слухом продолжали демонстрировать превосходные результаты.

Во время повторных исследований измерялась способность детей слышать разницу высоты последовательно предъявляемых звуков. В монотонной последовательности дети могли определить изменение высоты величиной от одного до двух полутонов, но их результаты ухудшились по сравнению с нормально слышащими детьми, когда тона начали последовательно меняться, а их просили определить, одинаковые или разные две предъявленные последовательности. В этих условиях детям с КИ было трудно обнаружить изменение на полтона. В других условиях от детей требовалось повторить спетый текст знакомой песни с музыкальным аккомпанементом или без него. Текст существенно изменялся, и гармонические структуры тоже отличались от текста песни. Дети с КИ правильно повторили 19% слов, в то время как контрольная группа их нормально слышащих сверстников показала результат 90%.

Заключительные исследования оценивали, могут ли глухие от рождения дети с КИ воспроизвести относительную высоту и хронометраж песенных звуков. В число испытуемых входили 12 детей с КИ и 6 детей с нормальным слухом, японцы по национальности. Дети с КИ спели ритм песни почти так же, как и дети с нормальным слухом, но общий высотный диапазон у них оказался сжатым, и высотный рисунок не соответствовал оригиналу.

Восприятие промежуточных высот и Модифицированный мелодический тест восприятия высоты

Бретт Свонсон, инженер корпорации Cochlear (Сидней) описал исследования восприятия промежуточных высот у детей с КИ, пользующихся стратегией кодирования звука АСЕ. Перекрывающиеся фильтры, которые используются в звуковом процессоре Nucleus, создают разную частоту стимуляции на смежных электродах при изменении основной частоты. Это может привести к восприятию другой, промежуточной высоты при последовательной стимуляции. Несмотря на разброс данных, зависящий от стимулируемых электродов, Свонсон показал, что владельцы КИ могут точно оценивать промежуточные высоты, которые отличаются от основной высоты на 4–6 полутонов. Он объяснил полученные результаты, скомбинировав амплитудную модель с моделью громкости МакКея. Свонсон также разработал Модифицированный мелодический тест, который оценивает высоту при узнавании знакомых мелодий, противопоставляя ее вариации тембра. В каждом испытании мелодия предлагалась дважды, один раз правильно, а другой раз с измененной высотой (растянутой или сжатой). Задача заключалась в том, чтобы правильно узнать мелодию. Предварительные результаты для пациентов с бимодальной стимуляцией, как при пользовании только КИ, так и в бимодальном режиме со СА показали, что использование второго КИ значительно улучшает правильное распознавание мелодии.

Временные и пространственные аспекты высотного музыкального интервала

Как д-р Сипке Пиджл (Ванкувер, Канада), так и д-р Фан Ган Зан (Калифорнийский университет, Ирвин) обсуждали относительное значение места и скорости стимуляции в распознавании высотного музыкального интервала или мелодии пользователями КИ. Работа Пиджла показала, что скорость изменения высоты достаточна для восприятия музыкального интервала, хотя и ограничена нижней частью высотного музыкального диапазона. Но полученные им данные не позволили однозначно определить, хватает ли сдвига места стимуляции вдоль электродной решетки для восприятия интервала. Он пришел к выводу, что временная и пространственная высотная информация, возможно, должна быть ковариантной и конгруэнтной, чтобы передавать основные музыкальные высоты для распознавания мелодии. Зан обнаружил, что восприятие высоты зависит от частоты повторения импульсов, причем результаты улучшаются при более высокой частоте, в отличие от низкой. Пиджл высказал предположение о том, что если частота и место стимуляции подвержены непрерывным динамичным изменениям, то восприятие высоты и узнавание мелодии дополнительно улучшаются. Зан также отметил, что акустический слух вносит основной вклад в распознавание мелодии у пользователей бимодальных слуховых средств, так как тонкая низкочастотная структура звука сохраняется.

Опыт музыканта, пользователя КИ

Ричард Рид, музыкант и пользователь КИ Nucleus 24 Contour с процессором Freedom, поведал историю своей жизни. Он рассказал о том, как вновь нашел себя в музыке после того, как внезапно потерял слух, а затем получил КИ. С помощью музыкальных записей на компьютере он представил аудитории свой первый опыт восприятия окружающих звуков, и продемонстрировал, как разные виды музыки звучали при передаче посредством импланта и менялись с течением времени. Набравшись терпения, после длительной практики Ричард вновь наслаждается прослушиванием музыки и играет в профессиональном ансамбле.

Исследования при бимодальной стимуляции

Д-р Дьюи Лоусон (исследовательский институт в Северной Каролине) и д-р Михал Лунц (Хайфа, Израиль) посвятили свои презентации разным аспектам бимодального слуха. Лоусон изучал двух пользователей КИ, которые были имплантированы с целью лечения тиннитуса (нормальный слух в одном ухе и имплант фирмы Med-El в другом). Он представил данные об изменении высоты вдоль электродной решетки. Испытуемые должны были совместить частоту и громкость синтезированных акустических тонов с высотой и громкостью электрических стимулов вдоль электродной решетки. У одного испытуемого не было обнаружено изменений высоты вдоль электродной решетки, в то время как второй испытуемый продемонстрировал линейное возрастание высоты, при этом акустическая частота отображалась по логарифмической шкале. Д-р Лунц обобщил результаты нескольких исследований распознавания речи в шуме для взрослых и детей, пользующихся бимодальными слуховыми средствами. Его данные показали, что определенное понимание речи в шуме с помощью одного только импланта необходимо для того, чтобы получить дополнительную пользу от СА на противоположном ухе. Анализируя данные с течением времени, он обнаружил максимальную разницу между бимодальным режимом и слухом только через КИ через 18 месяцев после подключения. Это говорит о том, что владельцам КИ нужен практический опыт, чтобы научиться сочетать акустическую и электрическую слуховую информацию.

Сенсорные моторные аспекты восприятия музыки

Д-р Дэвид Вессел (Калифорнийский университет, Беркли) интересуется тем, как сенсорные моторные действия влияют на развитие музыкального восприятия. Исследования в области зрительных ощущений показали важность активного взаимодействия с окружающей средой для развития способностей к восприятию. Вессел изучает то, как нужно настраивать музыкальные инструменты, чтобы позволить пользователям имплантов самим создавать музыку и непосредственно с ней взаимодействовать. Возможно, это будет развивать их навыки слухового восприятия. В свою очередь, улучшение навыков восприятия может привести к хорошему качеству прослушивания музыки.

Информация к размышлению после симпозиума

На основании результатов исследований, представленных на симпозиуме, были сделаны следующие основные выводы:

Усовершенствования обработки сигнала и конструкции электродной решетки могут улучшать восприятие музыки и удовольствие от ее прослушивания.

Углубленное понимание основных психофизических способностей, лежащих в основе восприятия музыки, может привести к усовершенствованию обучающих средств и методов, предназначенных для развития восприятия музыки и ее оценки.

Даже небольшая доля акустического слуха может улучшить восприятие и оценку музыки. Поэтому важно создать электродные решетки и операционный инструментарий, которые будут сохранять остаточный слух.

Ритмические аспекты музыки относительно хорошо передаются с помощью современной технологии КИ. Но для того, чтобы улучшить восприятие музыки и общее восприятие качества звучания, требуются дальнейшие исследования передачи точной спектральной информации.

Творческие методы обучения, помогающие владельцам имплантов выбирать музыку для тренинга и активно с ней взаимодействовать, могут улучшить процесс обучения музыке, ее восприятие и удовольствие от ее прослушивания.

Музыка и КИ: Европейские исследования

Михаэль Бюхлер из отделения экспериментальной аудиологии при университетском госпитале Цюриха (Швейцария) участвовал в целом ряде исследований, посвященных восприятию музыки с помощью КИ. Он представил их первые результаты на Вступительном симпозиуме по восприятию музыки с помощью КИ 2006 года. Далее приведен отчет о научной работе, изучавшей влияние бимодальной стимуляции на восприятие музыки у пользователей КИ. В этом разделе также описывается воздействие меняющегося динамического диапазона, который предлагает ADRO (адаптивная оптимизация динамического диапазона) – система обработки сигнала, используемая в Nucleus Freedom.

Бимодальная стимуляция и восприятие музыки

Многие пользователи КИ имеют остаточный слух и используют слуховые аппараты в дополнение к своему КИ, в частности на противоположном ухе. Хотя ФУНГ и отсутствие спектральной резкости, свойственные сильной потере слуха, могут существенно искажать сигнал, использование СА все же дает доступ к некоторой полезной низкочастотной информации. То есть во многих случаях бимодальная стимуляция улучшает восприятие звука, независимо от того, в каком ухе происходит акустический слух – в имплантированном или в противоположном. Это подтверждают результаты исследований.

Конг измерил распознавание речи и мелодии у одной и той же группы испытуемых и нашел, что при понимании мелодии низкочастотный акустический слух позволяет добиться гораздо лучших показателей, чем электрический слух через КИ. При понимании речи результаты оказались прямо противоположны.

Десять пользователей КИ, носивших СА на противоположном ухе, участвовали в исследованиях Цюрихского университета. Пятеро из них имели музыкальный опыт, в то время как другие пять человек этого опыта не имели. Длительность использования КИ составляла от шести месяцев до пяти лет. Тесты проводились в условиях бимодального стимулирования и в условиях работы одного КИ. Опытная версия серии тестов MACarena (смотри ниже) содержала тест на узнавание мелодии, который впоследствии был заменен тестом гармония/диссонанс.

Тестовый материал

Совместно с отделением отоларингологии Цюрихского университета был разработан музыкальный тест, использующий параметры проведения компьютеризованных речевых тестов MACarena, тоже созданных в университетском госпитале Цюриха. Алгоритм MACarena содержит унифицированный пользовательский интерфейс и ряд гибких шаблонов, на основе которых можно разработать и внедрить серию тестов. Предварительно записанный тестовый материал сохраняется в формате wav, его можно воспроизвести на любом компьютере со звуковой картой, работающем в системе Windows. Записанный материал позволяет точно представить тестовый материал во время первого и всех последующих тестовых сеансов, при этом воспроизведение через звуковую карту компьютера исключает необходимость в дополнительном оборудовании (магнитофон или CD-плеер). Элементы, выбранные из каждого тестового списка, могут автоматически располагаться в случайном порядке, чтобы сократить до минимума любой эффект запоминания, который может возникнуть у испытуемого. Тестовый материал предоставляется отдельно, содержит воспроизводимые звуки (файлы с расширением wav) и варианты ответов (кнопки с надписями). Такое структурное разделение материала позволяет изменять тесты MACarena соответственно индивидуальным потребностям (тестовый материал на разных языках, музыкальные произведения и т.д.).

Объективный музыкальный тест складывался из трех компонентов:

Тест музыкальных характеристик. Распознавание различных высоты, ритма, гармонии/диссонанса, основанно на серии тестов Шупперта. Гармонический тест создан Институтом исследований звука и вибрации при Саутгемптонском университете (Великобритания).

Определение вида инструмента (т.е. тембра). Испытуемых просят определить вид инструмента, предъявляя им запись сольной игры одного из восьми инструментов (медные духовые, деревянные духовые, скрипичные, ударные). Авторы теста Гфеллер и Лансинг.

Распознавание песен (на основе теста Шупперта). Из списка 50 общеизвестных песен, сыгранных на пианино без аккордов, испытуемый должен узнать не менее 18 песен. Было создано три подсписка, которые предъявлялись на каждом сеансе в трех разных условиях. Правильным ответом считалось название песни, повторение части текста или напевание мелодии.

В дополнение к тесту музыкальных характеристик и тестам на определение инструмента и песни, испытуемых попросили заполнить анкету и дать ответы на такие вопросы, как наличие музыкального образования и опыта, слуховые привычки до и после имплантации, предпочтительные виды музыки и ее носителей и удовольствие от музыки, получаемое с помощью одного КИ, одного СА и СА+КИ одновременно. Усредненные результаты определения высоты, определения мелодии, ритмического теста и узнавания инструмента представлены на иллюстрации 1.

Иллюстрация 1. Усредненные результаты исследований бимодального восприятия музыки.

Уровень распознавания для высоты, мелодии и ритма составлял 50%,

для определения инструмента – 25%.

Большинство испытуемых продемонстрировали не слишком хорошие результаты определения высоты и мелодии с помощью одного КИ, зато в условиях бимодальной стимуляции у некоторых испытуемых результаты улучшились. Показатели определения мелодии остались на уровне, определенном для всех условий. Восприятие ритма для большинства испытуемых оказалось высоким уже при применении одного КИ и существенно не изменилось при бимодальной стимуляции. Не удалось добиться заметного улучшения восприятия ритма и при использовании одного слухового аппарата.

Музыка и кохлеарные импланты Часть 2.

Продолжаем публиковать материал, предоставленный компанией Cochlear, посвященный исследованиям восприятию музыки с помощью кохлеарной имплантации. Начало статьи >>

Корпорация Cochlear участвует во многих глобальных совместных исследованиях, посвященных восприятию музыки с помощью кохлеарной имплантации. В этой статье представлены результаты некоторых исследований, а также обзор Вступительного симпозиума по восприятию музыки с помощью кохлеарной имплантации.

Информация к размышлению: Бимодальная стимуляция и восприятие музыки

Создана новая серия тестов для оценки восприятия музыки. Серия тестов, использованная в этих исследованиях, проявила себя как полезное средство оценки музыкального звучания с помощью кохлеарной имплантации и/или слуховых аппаратов. Согласно полученным результатам, бимодальное стимулирование оказалось наиболее выигрышным для восприятия и оценки качества музыки. Требуются дальнейшие исследования при участии большей группы пользователей СА, пользующихся бимодальными слуховыми средствами. В настоящее время в 12 клиниках восьми европейских стран проводятся широкомасштабные исследования, в которых участвуют новые пользователи КИ, и используется тот же самый набор тестов, что и в описанных выше исследованиях. Музыкальные тесты проводятся до операции, а затем через три и шесть месяцев после активации импланта.

Оценка музыки в условиях меняющегося динамического диапазона

Многие пользователи КИ утверждают, что сложную музыку (такую, как классическая музыка в исполнении оркестра) труднее воспринимать, чем простую музыку (такую, как игра на одном инструменте). Это может быть связано с тем, что динамический диапазон сложной музыки значительно больше, чем простой музыки или речи (до 50-60 дБ УЗД, в отличие от 30-40 дБ УЗД).

Пять взрослых испытуемых (имплантированные системой Nucleus) приняли участие в опытных тестах в университетском госпитале Цюриха. У всех до имплантации была тяжелая прогрессирующая потеря слуха с минимальным остаточным слухом. Испытуемые пользовались своими имплантами в среднем в течение 15 месяцев. Их средний возраст составлял 47 лет (от 38 до 55 лет). Они не имели профессионального музыкального образования; некоторые из них играли на каком-нибудь инструменте до наступления потери слуха. Исследования оценивали влияние мгновенного входного динамического диапазона IILD и ADRO на оценку музыки.

ADRO – один из вариантов обработки входных сигналов (все вместе они называются Nucleus Smart Sound), предлагаемых системой Nucleus Freedom.

IILD – мгновенный входной динамический диапазон, доступный в любой момент времени, т.е. диапазон слышимого сигнала между началом стимуляции (T-SPL) и достижением комфортного уровня стимуляции (C-SPL), когда включается автоматическая регулировка усиления (АРУ). Его можно сравнить с другим термином, входным динамическим диапазоном, который означает полный диапазон доступного для обработки входного сигнала, то есть, IILD плюс дополнительный диапазон компрессии АРУ.

Чтобы оценить воздействие IILD на входной сигнал, проигрывались разные музыкальные пьесы для четырех разных видов распределения частот, имеющих разные параметры IILD. Тесты проводились как в лаборатории, так и в виде домашнего задания. Серия субъективных музыкальных тестов оценивала качество пяти стилей сложной музыки: классика, поп, джаз, вокал и инструментальная музыка. Испытуемые слушали каждый стиль при четырех разных случайных распределениях частот с уровнем громкости 70 дБ УЗД. Они оценивали свои слуховые ощущения по пяти критериям: музыкальность звучания, естественность, четкость, уместность тихих и громких пассажей. Испытуемые сообщали, если общий уровень звука был слишком высоким или слишком низким, после чего специалисты могли откорректировать уровень на - 6 дБ, + 6 дБ и + 12 дБ.

Во время домашних испытаний пользователи КИ оценивали качество 20 музыкальных произведений, записанных на CD.

Меняющийся IILD подстраивал входную динамику звукового процессора к эффективному динамическому диапазону сигнала звукового источника. На выходе система Freedom дает высокоточное распределение громкости, используя дискретные текущие уровни для кодировки громкости, а также небольшие вариации номинальной ширины импульса. Теоретически эта новая схема распределения громкости позволяет добиться чрезвычайно маленького разрешения громкости величиной всего 0,01 дБ. Расширенный диапазон IILD (который покрывает динамический диапазон музыки), предназначенный для передачи звукового сигнала без компрессии и искажений, в дополнение к новому алгоритму распределения громкости, потенциально может улучшить качество звука для пользователей КИ.

ADRO – адаптивный алгоритм подавления шума, который улучшает разборчивость звука для пользователя КИ, изменяя усиление отдельных каналов в зависимости от звуков окружающей среды. Принято считать, что не изменяющиеся каналы несут шум, поэтому они приглушаются, а динамично изменяющиеся каналы несут информацию, поэтому они усиливаются. Сегодня у нас имеется мало данных о том, как ADRO обрабатывает музыку, и как пользователи КИ оценивают его влияние на качество сигнала.

При выборе подходящих музыкальных записей исследователи обнаружили, что динамический диапазон музыки никогда не был таким высоким, как ожидалось (50 дБ и более). Максимальный диапазон составил примерно 46 дБ для классической оркестровой музыки, а также для популярной, джазовой и инструментальной музыки (пианино), смотри Рисунок 1. В случае поп-музыки такой высокий динамический диапазон имели лишь старые записи. Сегодня существует тенденция сжимать (жестко ограничивать) музыку, особенно таких стилей, как поп и рок, так что динамический диапазон снижается до менее чем 20 дБ. Следовательно, польза IILD, превышающего 50 дБ, находится под вопросом.

Самый оптимальный IILD для всех музыкальных произведений составил 40 дБ (это соответствует величине, установленной по умолчанию в процессоре Nucleus Freedom). Для музыкальных пьес с высоким динамическим диапазоном предпочтение было более выраженным, чем для пьес с низким динамическим диапазоном. Более высокие значения IILD (50 дБ) оказались менее предпочтительными для всех музыкальных произведений с разными динамическими диапазонами.

Для поп-музыки, джаза, пения и инструментальной музыки выраженной разницы в предпочтении 30 или 40 дБ IILD обнаружить не удалось. Но для классической музыки величина 40 дБ IILD явно была предпочтительна другим динамическим диапазонам. Частично это можно объяснить за счет отбора музыкальных произведений для тестов.

Информация к размышлению: влияние динамического диапазона на оценку качества звучания музыки.

По данным исследований рекомендуемый IILD для музыки равен 40 дБ. Однако в случае особой чувствительности к восприятию, музыке с высоким динамическим диапазоном может соответствовать величина 50 дБ IILD. В повседневной жизни динамический диапазон большинства музыкальных произведений вряд ли достигнет такой величины. IILD 40 дБ соответствует значению, оптимальному для восприятия речи.

Восприятие музыки с помощью бимодальной стимуляции: исследование, проведенное в Австралии

Сачер и его коллеги из Мельбурнского университета в настоящее время исследуют восприятие музыки у пользователей КИ, особенно у людей, которые могут получить пользу от бимодальной стимуляции. Сегодня исследования сосредоточены на трех главных группах испытуемых:

Постлингвально оглохшие взрослые, которые пользуются имплантом больше 6 месяцев.

Прелингвально оглохшие дети, которые пользуются имплантом больше 6 месяцев.

Постлингвально оглохшие взрослые с круто ниспадающей диаграммой потери слуха, которые прошли имплантацию во время исследований.

Бимодальная стимуляция и восприятие музыки у взрослых

В общей сложности девять постлингвально оглохших взрослых, имеющих опыт использования импланта, участвовали во всех сразу или в нескольких экспериментах. Все они постоянно носили СА на противоположном, не имплантированном ухе. Они выполняли задания, в которые входило распознавание знакомых мелодий с удаленными ритмическими характеристиками, из закрытого списка размером 7 штук, распознавание звуков музыки и окружающей среды из закрытого списка размером 16 штук.

Помимо этого их попросили дать субъективные оценки качества музыки и окружающих звуков. Тесты проводились в трех вариациях: при использовании только импланта, только СА и бимодальной стимуляции (одновременно имплант и СА). Стимулы подавались в свободном звуковом поле посредством звукозаписи с уровнем громкости примерно 65 дБ (А). Суммарные результаты представлены на Рисунке 4.

В среднем показатели распознавания мелодии оказались выше для бимодальной или только акустической стимуляции, чем при использовании только импланта. Из трех тестовых условий бимодальная стимуляция дала наилучшие результаты при идентификации звуков музыки и окружающей среды. Воспринимаемое качество звука, которое оценивалось по шкале баллов, также оказалось наивысшим для бимодальной стимуляции.

Хотя большинство испытуемых не имели остаточного слуха на не имплантированном ухе на частоте свыше 750 Гц, бимодальная стимуляция дала значительное улучшение восприятия музыки и субъективного качества ее звучания, по сравнению с результатами, полученными только при электрической стимуляции.

Бимодальная стимуляция и восприятие музыки у детей

В Мельбурне были проведены дополнительные исследования, чтобы определить, может ли ребенок, пользующийся КИ, слушать музыку посредством импланта и испытывать при этом те же ощущения, что и взрослые пользователи. Большинство исследований, в которых участвовали дети - пользователи КИ, было посвящено их способности распознавать речь. Однако постоянное улучшение восприятия речи привело к следующему: сегодня, когда родители решаются на имплантацию для своих детей, они обычно ожидают, что дети будут принимать участие во многих видах учебной и социальной активности, в число которых они включают и музыку. Хотя мнение о восприятии музыки у детей с КИ может быть составлено по результатам исследований, в которых участвовали взрослые, не следует считать, что эти результаты точно и полно отражают способности к восприятию музыки у детей-пользователей КИ. Кохлеарная имплантация до приобретения навыков восприятия музыки может привести к значительному снижению способности прослушивания музыки. И наоборот, ребенок с КИ может адаптироваться к музыкальному сигналу плохого качества, слышимому посредством импланта, и научится воспринимать музыку.

Исследования, недавно проведенные в Мельбурне, фиксировали и сравнивали восприятие и оценку музыки для небольшой группы детей в возрасте 9-16 лет, как имеющих нормальный слух, так и пользующихся КИ. 11 детей-пользователей КИ и 11 детей с нормальным слухом участвовали в изучении восприятия музыки. Восприятие мелодии оценивалось с помощью тонального теста, взятого из РММА (простейшие измерения восприятия музыки). Детям предъявляли пары коротких мелодий и просили определить, одинаковые это мелодии или разные. Для оценки восприятия тембра детей просили опознать записи игры на разных инструментах, входящих в закрытый набор из 12 элементов. Тембр оценивался с помощью тех же звуковых сигналов; дети должны были дать каждому сигналу оценки от одного (совсем не нравится) до пяти (очень нравится). Тесты также проводились при бимодальной стимуляции для 7 из 11 детей, которые имели остаточный слух в не имплантированном ухе.

Результаты показаны на Рисунке 5. В среднем результаты, полученные для детей с КИ, объективно оказались хуже и имели больший разброс, чем результаты их нормально слышащих сверстников, как в тесте РММА, так и в тесте по идентификации инструментов. Однако и дети с КИ, и нормально слышащие дети дали одинаковые оценки тембра. Следовательно, хотя дети-пользователи КИ могут иметь трудности при восприятии музыкальных звуков, аналогичные тем, которые испытывают взрослые пользователи, они оценивают музыку так же, как нормально слышащие дети.

Результаты предварительного сравнения между электрической (только один КИ) и бимодальной стимуляцией приведены на Рисунке 6. Они говорят о том, что, в отличие от взрослых пользователей КИ, бимодальная стимуляция не дает выраженного улучшения восприятия музыки у детей с КИ. Пока неясно, чем вызвана такая разница пользы бимодальной стимуляции – изменениями тестовой процедуры или величиной остаточного слуха в не имплантированном ухе. Возможно, что взрослые, слух которых ухудшался с течением времени, и которые прошли имплантацию после получения навыков восприятия музыки, способны получить большую отдачу от акустического сигнала слухового аппарата, в отличие от детей. Планируются дальнейшие исследования для изучения этого вопроса.

Бимодальная стимуляция и музыкальные звуки для круто ниспадающей аудиограммы потери слуха.

Третья группа испытуемых, для которой оценивалось восприятие музыки, включала в себя пять взрослых с круто ниспадающей аудиограммой. Эти люди не соответствовали современному клиническому критерию для проведения кохлеарной имплантации, главным образом потому, что имели относительно хорошие пороги слышимости на низких частотах. Однако, они получали минимальную пользу от акустических СА. После имплантации они были протезированы двумя слуховыми средствами, КИ и СА, настроенным таким образом, что он давал дополнительную высотную информацию. В частности, акустические сигналы подавались с соответствующим усилением только в слышимом диапазоне частот, для обработки естественным слухом в не имплантированном ухе или в обоих ушах, в то время как электрическая стимуляция через КИ проводилась только для высоких частот. Испытуемые в течение трех месяцев пользовались этим экспериментальным «высотным» распределением частот в своих КИ, а затем, в течение следующих трех месяцев пользовались традиционным клиническим распределением частот. В этот период они продолжали пользоваться и акустическими СА. Традиционное и экспериментальное распределение частот в каждом случае представлено на Рисунке 7.

Для этой группы испытуемых оценивалось как разборчивость речи, так и восприятие музыки. Разборчивость речи оценивалось с помощью теста CNC (речевой тест с использованием односложных слов в тихой обстановке), консонантного теста в тишине и теста CUNY (речевой тест с использованием набора фраз в присутствии шума). Восприятие музыки оценивалось с помощью тестов распознавания мелодии, идентификации звука и оценки качества, описанных выше. В дополнение к этому оценивалось высотное восприятие с помощью теста классификации высот, в котором испытуемым предъявляли пары пропетых гласных, отличающихся на пол-октавы, и просили сказать, какая гласная имеет более высокий тон.

Полученные результаты показали лишь небольшую разницу при идентификации мелодии, восприятия окружающих звуков, восприятия высоты и оценки качества звучания, если сравнивать результаты до операции, полученные с помощью бинауральных СА, и результаты после операции, полученные с помощью бимодальной стимуляции. Однако результаты, полученные при использовании только одного КИ, в среднем оказались хуже при распознавании мелодии, оценки качества звучания и оценки высоты, чем результаты для бимодальной стимуляции или для работы одних СА.

У каждого испытуемого были обнаружены значительные улучшения восприятия речи по сравнению с результатами тестов до операции, полученных с помощью бинауральных СА. Для тестов в шумной обстановке наилучшие результаты были получены, когда испытуемые использовали имплант вместе со слуховым аппаратом. Судя по всему, экспериментальное и традиционное распределение частот дало одинаковые результаты как для восприятия музыки и речи, так и для качества звучания.

Информация к размышлению: бимодальная стимуляция у детей и взрослых

Суммируя все вышесказанное, бимодальная стимуляция может быть полезной для постлингвально оглохших взрослых с остаточным низкочастотным акустическим слухом, не только для понимания речи, но и для прослушивания музыки и других неречевых звуков. Однако требуются дальнейшие исследования, чтобы определить, можно ли добиться аналогичных улучшений для прелингвально оглохших детей-пользователей КИ, у которых сохранился остаточный слух после имплантации.

По материалам компании Cochlear, Австралия