

А.Г. Понизов, Р.В. Мещеряков

КАМЕРТОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛУХА ЭЛЕКТРОННЫМИ СРЕДСТВАМИ

Аннотация

В статье рассматривается использование аппаратного комплекса, работающего подобно камертону и предназначенного для проведения исследований слуха. Описываются основные опыты, показаны особенности использования электронных средств. Дана оценка достоверности и эффективности использования электронного камертона.

Функциональная характеристика слухового анализатора человека имеет большое значение не только для диагностики заболеваний слуха, но и для оценки профессиональной пригодности. Особенно важным является массовое исследование детей с целью выделить группы с начинающимися нарушениями слуха для последующей профилактики тугоухости.

Для исследования слуха отдельными тонами (тональная аудиометрия) требуются источники звуков, которые давали бы возможность получить чистые тоны широкого диапазона слышимых частот определенной силы. В настоящее время для этого пользуются камертонами и электроакустическими приборами – аудиометрами.

Преимуществом камертонов являются простота устройства, портативность и сравнительно хорошая чистота звука (т. е. сила обертонов невелика). При помощи камертона можно исследовать как воздушную, так и костную проводимость. Недостатками исследования камертонами являются относительность измерения порога слуха, который обозначается не в единицах интенсивности звука (децибелы), а в относительных величинах (продолжительность восприятия). Кроме того, исследова-

ние камертонами требует определенных навыков.

Еще одним распространенным средством оценки качества слуха являются аудиометры. Они позволяют измерить остроту слуха как минимальную интенсивность звука, которую способно воспринимать человеческое ухо, и чувствительность к звукам разной чистоты. Недостатками аудиометров являются их дороговизна и большие массогабаритные показатели.

Таким образом, необходимо объединить простоту и портативность камертона с точностью аудиометра, что является целью создания прибора для практического здравоохранения. Таким прибором может стать «электронный камертон» (функциональная схема на рис. 1).

По аналогии с набором камертонов необходимо реализовать тональные исследования. Конструкция прибора позволяет выводить фиксированные частоты 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц, диапазон интенсивности составляет 35 дБ (от 5 до 40 дБ), шаг изменения интенсивности 5 дБ. Далее будем называть прибор электронным камертоном.

Электронный камертон позволяет проводить основные камертональные тесты: Ринне, Вебера, Желле и Федеричи. Очевидно, что для оценки ра-

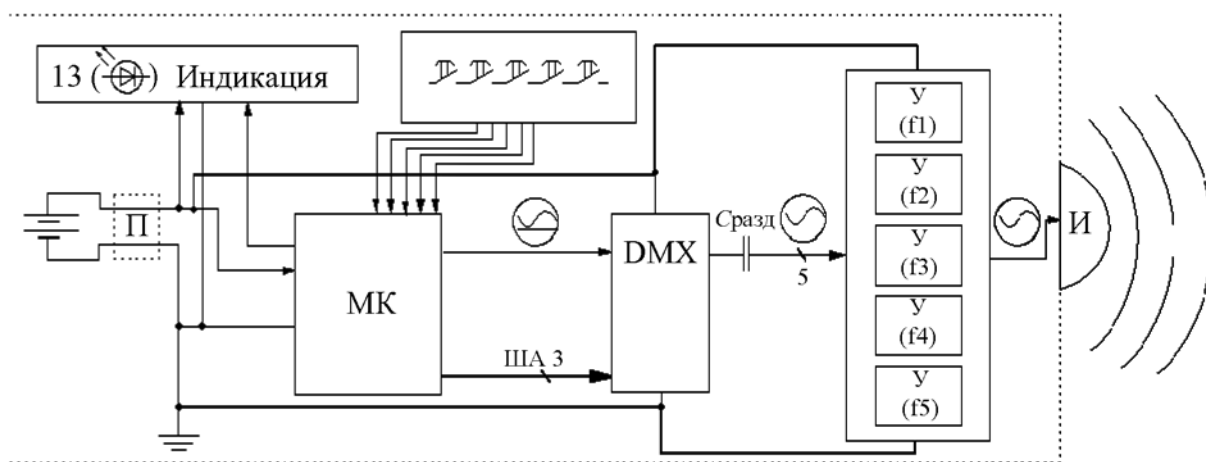


Рис. 1. Функциональная схема разработанного аудиометра: П – преобразователь напряжения питания; МК – микроконтроллер; У – усилитель калибровочный; И – излучатель вибрации; DMX – демультиплексор; ША – шина адреса

ботоспособности и применимости прибора необходимо провести сопоставительные эксперименты с обычным камертоном.

Методика проведения тестов

Опыт Ринне заключается в сравнении длительности воздушной и костной проводимости. Звучащий камертон ставят на площадку сосцевидного отростка (рис. 2); после прекращения его звучания (по словам пациента), не возбуждая камертон, переносят его к наружному слуховому проходу. Если обследуемый продолжает слышать его по воздуху, то данный тест расценивают как положительный. Это означает, что воздушное проведение преобладает над костным.

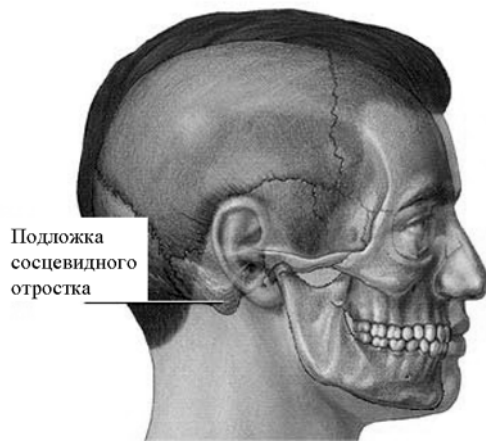


Рис. 2. Подложка сосцевидного отростка

Интерпретируя опыт Ринне, можно сказать, что положительный результат наблюдается при нормальном слухе и нейросенсорной тугоухости (НСТ). При прекращении восприятия звучания камертона у сосцевидного отростка (больной не слышит его) и у наружного слухового прохода тест считается отрицательным, что свидетельствует о кондуктивной тугоухости [1].

Методика проведения опыта Ринне с использованием электронного камертона отличается тем, что в самом начале врач определяет порог слышимости по костному звукопроведению. Он включает прибор, выбирает частоту исследования, выставляет интенсивность, равную 40 дБ, прикладывает прибор костным вибратором на сосцевидный отросток, затем опрашивает пациента. Если пациент слышит звук, то необходимо уменьшить интенсивность на 5 дБ, приложить костный вибратор к сосцевидному отростку и снова опросить пациента. Это процедуру нужно повторять до тех пор, пока пациент не перестанет слышать звучание костного вибратора. Последнее значение интенсивности звука, которое слышал пациент, будет являться порогом слышимости для костного звукопроведения. Следующим шагом является уменьшение интенсивности на 5 дБ и приближение звучащего костного вибратора к наружному слуховому проходу пациента. Если пациент слышит звук от костного вибратора, то опыт Ринне считается положительным, если нет – отрицательным.

Опыт Вебера позволяет оценить латерализацию звука. Звучащий камертон ставят на темя, лоб, или корень носа, или по центру на подбородок. Важно, чтобы камертон располагался на мягкотканой поверхности, так как в противном случае происходит образование высокочастотных обертонов (помех). Бранши звучащего камертона должны располагаться во фронтальной плоскости.

При интерпретации опыта Вебера следует отметить, что в норме пациент слышит звук в середине головы или одинаково обоими ушами. При односторонней кондуктивной тугоухости звук латерализуется в больное (хуже слышащее) ухо, при односторонней НСТ – в здоровое (лучше слышащее) ухо. При двусторонней кондуктивной тугоухости звук будет латерализовываться в хуже слышащее ухо, при двусторонней НСТ – в лучше слышащее ухо. Опыт очень чувствителен: даже при незначительной кондуктивной тугоухости с повышением порога восприятия на 5 дБ будет происходить латерализация звука. Хотя этот тест широко применяют на практике, так как он диагностически достоверный и значимый, акустическая его природа недостаточно ясна [1].

Проведение опыта Вебера при помощи электронного камертона происходит аналогично: включается прибор, выбирается частота исследования 500, 1000, 2000, 4000 или 8000 Гц, выбирается интенсивность от 30 до 40 дБ и звучащим костным вибратором ставится на лоб, темя или на корень носа, после чего необходимо опросить пациента о наличии или отсутствии латерализации звука.

Главным отличием методики с использованием электронного камертона является то, что при неправильном возбуждении камертона или ошибочной фиксации камертон может перестать вибрировать до момента реакции пациента, после чего необходимо повторное проведение опыта. Однако в случае с электронным камертоном нет затухания сигнала, а фиксация может быть осуществлена без выключения прибора и изменения его параметров.

Опыт Желле позволяет выявить кондуктивную тугоухость, обусловленную неподвижностью стремени, в частности при отосклерозе. Звучащий камертон прикладывают к темени и одновременно пневматической воронкой сгущают воздух в наружном слуховом проходе. В момент компрессии обследуемый чувствует снижение восприятия звука, что связано с ухудшением звукопроведения за счет вдавливания стремени в нишу окна преддверия. В этом случае опыт Желле расценивают как положительный. Положительный опыт Желле – снижение восприятия звука в момент компрессии – наблюдается в норме при НСТ. При неподвижности стремени никакого изменения восприятия звука не происходит – опыт Желле считают отрицательным [1].

При проведении опыта Желле с использованием электронного камертона врач сначала выбирает интенсивность и частоту исследования, затем прикладывает прибор звучащим костным вибратором к темени пациента и одновременно пневмати-

ческой воронкой сгущает воздух в наружном слуховом проходе. Основным отличием, как и в опыте Вебера, является то, что электронный камертон не прекращает вибрировать из-за неправильного возбуждения или неправильной фиксации его на голове больного, что значительно облегчает проведение опыта.

Опыт Федеричи заключается в сравнении длительности восприятия звучащего камертона с сосцевидного отростка и с козелка при обтурации им наружного слухового прохода. После прекращения звучания на сосцевидном отростке камертон ставят ножкой на козелок (рис. 3).



Рис. 3. Козелок уха

Опыт Федеричи является положительным в норме и при НСТ (звучание камертона с козелка воспринимается дольше), а отрицательным – при нарушении звукопроводения [1].

Основным отличием методики проведения опыта Федеричи с использованием электронного камертона от опыта с применением обычного камертона является необходимость в начале опыта выявить порог слышимости пациента. Это осуществляется выбором частоты исследования, выставлением интенсивности 40 дБ, затем прибор прикладывают костным вибратором к сосцевидному отростку и проводят опрос больного на восприятие звука. Если пациент слышит звук, то интенсивность понижают на 5 дБ и прикладывают звучащий костный вибратор к сосцевидному отростку. Эту операцию необходимо выполнять до тех пор, пока пациент не перестанет слышать звук. Последнее значение интенсивности, услышанное пациентом, считается порогом слышимости. После определения порога слышимости, следует понизить интенсивность на 5 дБ относительно порога слышимости и приложить прибор костным вибратором к козелку пациента. Если пациент продолжает слышать звук, то опыт Федеричи следует считать положительным, если нет – отрицательным.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- при проведении опытов Ринне и Федеричи врачу необязательно выявлять порог слышимости в каждом опыте отдельно на одном и том же ухе, как это происходит в случае с обычным камертоном;

- в опытах Вебера и Желе нет необходимости дополнительно возбуждать инструмент;
- использование электронного камертона позволяет уйти от специальных методик возбуждения камертона и фиксации его на пациенте;
- электронный камертон позволяет уйти от определения порога слышимости в относительных единицах и перейти непосредственно к выявлению порога слышимости в децибелах.

Эксперимент

Электронный камертон прошел функциональные испытания, целью которых было оценить временные, диагностические и квалификационные характеристики электронного камертона в сравнении с классическим.

Длительность исследования составляла одну неделю для каждого пациента. В рамках эксперимента было обследовано 40 человек. Критерий включения в исследование – возраст обследуемого (18...60 лет). Критерии исключения – врожденные пороки развития и острые воспалительные заболевания верхних дыхательных путей; перенесенные оперативные вмешательства на среднем ухе; наличие в анамнезе либо в период обследования признаков клинически значимого неконтролируемого заболевания органа или системы органов (активный туберкулез, онкологические заболевания), состояний в анамнезе (психические нарушения, алкоголизм, значимое снижение интеллекта), которые могут ограничить законность информированного соглашения или исказить интерпретацию проводимого исследования.

Последовательность проведения эксперимента включала в себя несколько этапов.

Первый этап – исследование слуха (камертональные тесты Ринне, Вебера, Желле и Федеричи) по традиционной методике [1] с использованием камертона С512 в стандартных условиях.

Второй этап – исследование слуха с использованием электронного камертона. Исследования проводят в нормальных условиях в тихой обстановке (уровень шума в окружающей среде не превышает 30 дБА). Порог слуха определяется по ответам испытуемого об обнаружении звукового сигнала. Все методы испытаний функциональны и неинвазивны.

Полученные данные обрабатывались с помощью программ Statistika 6.0 («StatSoft», США) и Microsoft Office Excel.

На рис. 4-7 представлены обобщенные результаты статистической обработки полученных данных, графики плотности вероятностей и гистограммы для классического и электронного камертонов.

Исходя из полученных результатов, была выдвинута гипотеза о нормальности распределения полученных величин. Для проверки данной гипотезы в соответствии с рекомендациями [2] были применены Т-критерий Стьюдента для одновыборочных исследований и Z-критерий.

Исследуемые зависимости можно принять нормально распределенными. Таким образом, можно

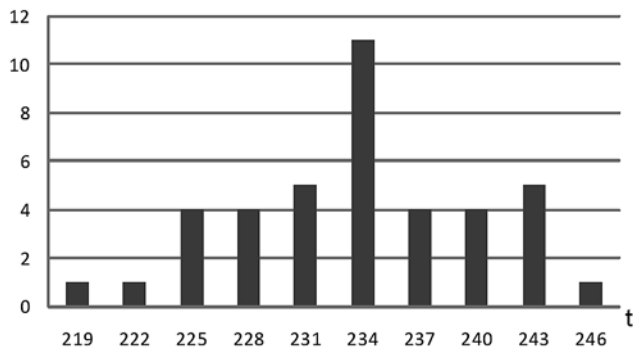


Рис. 4. Гистограмма полученных результатов с применением классического камертона

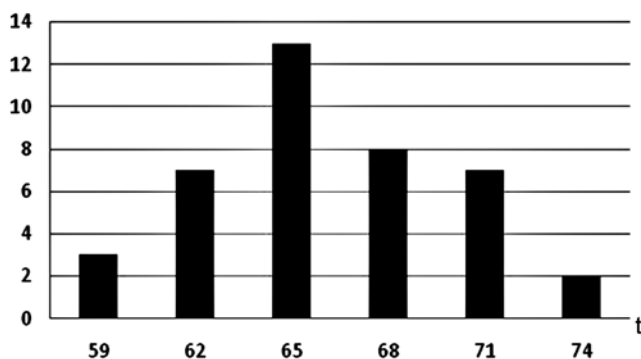


Рис. 6. Гистограмма полученных результатов с применением электронного камертона

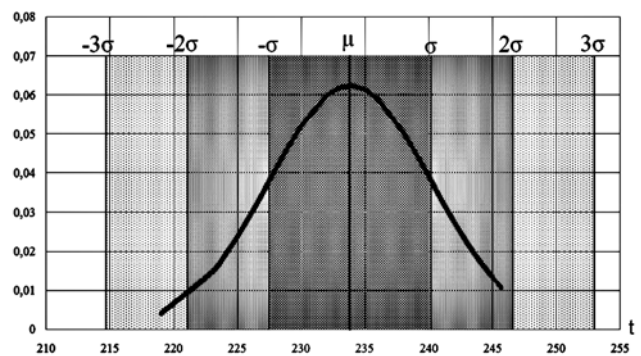


Рис. 5. График распределения плотности вероятности для результатов с применением классического камертона

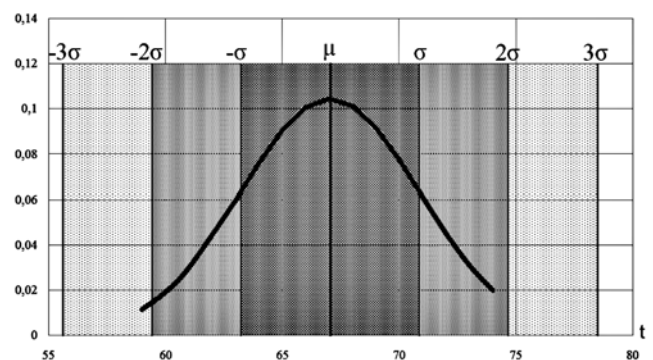


Рис. 7. График распределения плотности вероятности для результатов с применением электронного камертона

сказать, что время проведения камертональных тестов при помощи классического камертона в 3 раза больше, нежели при использовании электронного камертона.

Заключение

Таким образом, использование электронного камертона и методики проведения опытов Ринне, Вебера, Желле и Федеричи позволит:

- сократить время проведения камертональных опытов Ринне, Вебера, Желле и Федеричи в 3 раза относительно времени проведения этих тестов с использованием классического камертона;
- определять порог слышимости в единицах измерения звука (децибелы), а не в относительных величинах (продолжительность восприятия);
- облегчить проведение камертональных опытов за счет исключения из методики специальных требований по возбуждению и фиксации прибора;
- построить аудиодиаграмму костного звукопроводения на частотах 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц, в диапазоне интенсивностей от 5 до 40 дБ, что ранее можно было реализовать только при помощи аудитора.

Необходимо отметить, что с использованием электронного камертона появляется возможность резко расширить исследуемые частоты камертональных тестов, так как устройство классического камертона позволяет проводить камертональные

тесты только на низких частотах (до 500 Гц). При применении электронного камертона этот диапазон расширяется до 8000 Гц, что приводит к переосмыслению и пересмотру старых методик камертональных тестов.

Авторы благодарят В.И. Мухину, врача-фонистра 10-й городской поликлиники за оказанную помощь в исследовании данной темы.

Список литературы:

1. Оториноларингология. Национальное руководство / Под ред. В.Т. Пальчуна. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 960 с. (Серия «Национальные руководства»)
2. Дубина И.Н. Математические основы эмпирических социально-экономических исследований. Учебное пособие. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2006. 263 с.

*Алексей Григорьевич Понизов,
аспирант,*

*Роман Валерьевич Мещеряков,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра комплексной информационной безопасности
электронно-вычислительных систем,
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники,
г. Томск,
e-mail: office@keva.tusur.ru*