

Особенности звуковой проводимости и роль метрологического обеспечения в аудиометрии

А.А. Попов

к.т.н., начальник отдела Метрологического обеспечения и перспективного развития ФБУ «Омский ЦСМ»; г. Омск

С.А. Глушанина

студент ФЭОиМ Омского государственного технического университета; г. Омск

Примерно 8...10% информации человек получает благодаря органам слуха. Слух помогает определить силу звука, местонахождение его источника, направление распространения, орган слуха способствует удержанию тела в равновесии.

Звук – это механическое колебание, распространяющееся в воздушной, жидкой и газообразной среде.

В зависимости от амплитуды, частоты и интенсивности звуковых сигналов, подаваемых на органы слуха, мы можем определить такие характеристики как уровень высоты, громкости и тон звучания, а также почувствовать звуковое давление.

Обычный человек способен воспринимать звуковые колебания в диапазоне частот от 16...20 Гц до 15...20 кГц. Звук ниже диапазона слышимости человека называют инфразвуком; выше: до 1 ГГц – ультразвуком, от 1 ГГц – гиперзвуком [1].

Каждый человек по своей природе индивидуален, способность воспринимать звуковые частоты индивидуальна, она зависит от пола, возраста, наследственности человека, его предрасположенности к заболеваниям, чувствительности, тренированности, приобретенных или врожденных нарушений органов слуха. Известны люди со сверхчувствительностью к звукам относительно высокой частоты и наоборот – относительно низкой частоты. Причинами этого феномена бывают различные болезни или дефекты внутреннего уха, из-за которых человек может слышать движение глаз в глазницах или собственное дыхание громче, чем того хотелось бы.

Для того чтобы определить слуховую чувствительность к звуковым волнам различной частоты и измерить остроту слуха, в аудиометрии применяют методы исследования субъективной и объ-

ективной оценки слуха. К субъективным методам относят такие как акуметрия, тональная и надпороговая аудиометрия, тесты для диагностики расстройств слуха; объективные – импедансометрия, отоакустическая эмиссия, регистрация слуховых вызванных потенциалов. В основе исследования слуха лежит метод звуковой проводимости, которая в свою очередь подразделяется на воздушную и костную.

В случае воздушной проводимости звуковые волны попадают в наружный слуховой проход и вызывают колебания барабанной перепонки, передающиеся на слуховые косточки – молоточек, наковальню и стремечко. Смещение основания стремечка вызывает колебания жидкостей внутреннего уха и затем – колебания основной мембраны улитки (рис. 1) [2]. Звук, передаваемый через воздух, можно слышать дольше, чем передаваемый через кость.

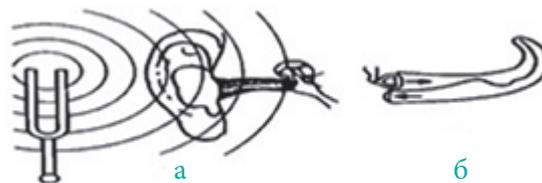


Рис. 1. Воздушное проведение звука
 а – распространение звуковой волны по наружному и среднему уху;
 б – распространение звуковой волны по жидкостям улитки (показано стрелками)

Перед началом исследования аудиометрист должен ознакомить исследуемого об условиях проведения испытания и провести инструктаж. Начинают исследования, как правило, с частоты 1000 Гц и с надпороговой интенсивностью звука. Тон 1000 Гц считается естественным тоном. Начиная исследования с этого тона, мы стремимся создать для больного естественную среду, благоприятную для органов слуха. К тому же надпороговая интенсивность звука с последующим уменьшением помогает исследуемому услышать и осознать суть исследования, а также дает возможность понять различия между звуком и тоном.



Интенсивность звука понижают с интервалом 5...10 дБ, до ощущения отсутствия колебания испытуемым. Существуют аудиометры с функциональной возможностью переключать интенсивность подаваемого звука на 1...2 дБ, исключением являются частоты 125, 250 и 8000 Гц, т.к. для них введены ограничения.

Длительность подаваемых звуковых сигналов не должна быть больше 1...2 секунд, согласно ГОСТ Р ИСО 8253-1-2012, а интервалы между ними не должны быть меньше 1,5–1 секунды. При длительном воздействии звуковых сигналов у исследуемого может возникнуть явление адаптации и утомление органов слуха.

В то же время, аудиометрист должен отследить, что исследуемый при нажатии на кнопку сигнализации среагировал не рефлекторно, а только после звукового раздражения, т.к., по мнению В.Ф. Ундрица, у больного может выработаться ощущение ритма, что приведет к ложной слышимости. Поэтому длительность интервалов нужно варьировать, однако – в вышеуказанных пределах.

Далее исследование проходит по тому же алгоритму на более высоких частотах: 2000, 4000, 8000 Гц; и низких: 500, 250, 125 Гц.

Если исследование проходит не в специальном звукозаглушающем помещении, то следует использовать амбушюры или внутриушные телефоны, снижающие влияние окружающего шума на 30...40 дБ.

При некоторых специальных задачах исследования проводят определение порогового слуха и на промежуточных частотах 3000 и 6000 Гц, в повседневной же клинической практике исследование на этих частотах не обязательно. Деление на шкале аттенюатора, после которого больной прекратил воспринимать звук, будет определять порог его слуха на данной частоте. Именно здесь исследователю необходимо быть предельно внимательным. Для получения действительно правильных данных он должен провести в районе порога небольшое усиление и уменьшение интенсивности тона и только после такого контроля зафиксировать результат исследования. Необходимо помнить, что при восприятии минимально слышимого порогового звука у больного возникает тенденция к прислушиванию. При этом ему нередко кажется, что он слышит уже не слышимый тон. Одновременно может осуществляться действие так называемого следового сигнала, когда больной действительно слышал не подающийся в данный момент тон. Во избежание влияния этих явлений аудиометрист обязан удлинить в районе порога интервалы между подачами звука.

После исследования порогового слуха воздушной проводимости одного уха переходят к исследованию второго. Рекомендуется начинать проводить

исследования с больного уха, т.к. оно будет подвержено более интенсивному раздражению, что приведет к быстрому утомлению больного. В течение всего испытания следует делать перерывы каждые 20 минут. Для более точного определения слышимости все этапы исследования желательно повторить 2...3 раза [3].

Описанная выше методика исследования слуха основана на постепенном переходе от слышимых тонов к неслышимым, т.е. сверху вниз. Использование второго способа, при котором определение порогового слуха производится постепенно возрастающей интенсивностью звука, т.е. снизу вверх, является менее желательным, т.к., по данным *Bekesy*, при этом будет иметь место повышение порогов на 10 дБ.

Следует ли заглушать ухо, в котором отсутствуют нарушения, при исследовании воздушной звукопроводимости?

Практически, если оба уха слышат одинаково хорошо или одинаково плохо, маскировки не требуется. При этих условиях наушник, закрывающий не исследуемое ухо, обладает достаточным заглушающим эффектом. Однако, если разница между воздушными порогами обеих ушей превышает 50...60 дБ, становится возможной передача звука в не исследуемое ухо по кости, а при еще большем расхождении и по воздуху. В этих случаях необходимо использовать маскирующее устройство аудиометра.

Нередко при исследовании порогов воздушной звукопроводимости приходится подавать звуковые сигналы большой интенсивности – 100 и более децибел. При этом могут возникнуть нежелательные реакции со стороны больного. *Bekesy* отмечает, что при воздействии через наушники сильным тоном до 130 дБ у исследуемых часто появляется головокружение и иллюзорное движение видимых предметов в пространстве, что является, по-видимому, следствием раздражения не только кохлеарного, но и вестибулярного отделов лабиринта.

При костной проводимости звук, источник которого соприкасается с головой, вызывает вибрацию костей черепа, в частности височной кости черепа, и за счет этого – колебания основной мембраны (*рис. 2*) [2].

Методика исследования костной звукопроводимости ничем не отличается от исследования воздушной проводимости, только вместо телефона здесь используется костный вибратор.

Костная проводимость обычно на 30...50 дБ ниже воздушной, это связано с небольшой чувствительностью костного вибратора на верхних частотах звукового диапазона, вследствие чего они не могут эффективно использоваться на частотах более 5...6 кГц, что является одним из недостатков костной проводимости.

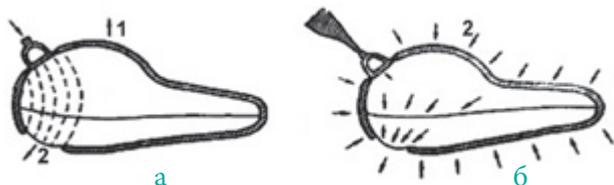


Рис. 2. Костное проведение звука

1 – движение головы, 2 – движение перилимфы;
 а – инерционный механизм костной проводимости (стрелкой показано движение головы);
 б – компрессионный механизм костной проводимости

В процессе исследования костной звукопроводимости возникает ряд обстоятельств, затрудняющих правильную оценку порогов слуха.

В ходе проверок, проводимых оператором с хорошим слухом и требующих субъективных оценок звуковых уровней по костной проводимости, костный вибратор способен излучать воздушный тон достаточно высокого уровня, что может исказить результаты проверок, особенно на частоте свыше 2000 Гц. Ослабить этот нежелательный звук можно, например, надев наушники (закрытого типа) или вставив ушные вкладыши [3].

Кроме того, уровни звукового давления, воспроизводимые при аудиометрических испытаниях, зависят от особенностей испытуемого, как с анатомической, так и с физиологической стороны, а также от расположения и прижимной силы костного вибратора на оголовье, от тактильного ощущения испытуемого. В этом случае определить влияние данных эффектов на результаты исследования невозможно, т.к. в этой области систематические исследования не проводились. В связи с этим была введена стандартная неопределенность, равная 2,25 дБ на частотах до 4 кГц и 3 дБ на частотах выше 4 кГц.

Исследованиями Г.А. Таварткиладзе и Т.Г. Гвелесяни (2003) определено, что при патологии среднего уха нарушается передача звуковых сигналов от наружного уха к внутреннему, поэтому пороги слышимости при воздушном звукопроведении в той или иной степени повышаются, в то время как при костном звукопроведении сигналы воспринимаются на нормальных уровнях интенсивности сигнала. Пороги при костной звукопроводимости не могут быть больше порогов воздушной проводимости. Кроме того, при повышении порогов по воздушной звукопроводимости, а также при некоторых видах патологий костей черепа вполне возможно отсутствие восприятия костнопроведенных звуков. Таким образом, при определении порога слуха с костным телефоном речь идет об относительной костной проводимости [4].

Для определения абсолютной костной проводимости необходимо исключить маскирующее влия-

ние шумового фона. С этой целью ухо закрывают специальной пластмассовой пробкой или влажным пальцем. Закрытие слухового прохода приводит в норме к удлинению костного восприятия на 5...10 дБ (опыты Бинга). Объяснение этому явлению находят не только в прекращении воздействия окружающего шума, но и в вовлечении в проведение звука замкнутого воздушного пространства наружного уха, через которое колебания с костей черепа передаются на барабанную перепонку и далее – через слуховые косточки на овальное окно. Следовательно, звук проходит к лабиринту двумя путями: костным и костно-тимпанальным. Понятно, что одновременная передача звука к лабиринту двумя различными путями приводит к обострению костной чувствительности.

По исследованиям Г.А. Таварткиладзе и Я.А. Альтман (2003), под давлением вибрирующего телефона в костях черепа возникают молекулярные движения, которые обязательно концентрируются в наиболее плотных его отделах – пирамидах обеих височных костей. Отсюда они свободно доходят до обеих улиток. Следовательно, моноауральное определение порогов костного слуха практически невозможно: воспринимающий аппарат исследуемого уха, хотя и слабее, чем исследуемого, но обязательно будет участвовать в ответной реакции [5]. Для предотвращения переслушивания необходимо, по-видимому, использовать маскировку, превышающую порог воздушной проводимости заглушаемого уха на 20 дБ. Если же у испытуемого наблюдаются разнохарактерные нарушения слуха на оба уха, то задача аудиометриста усложняется, т.к. необходимо установить роль маскировки и интенсивности маскирующего шума, учитывая особенности конкретного случая.

В связи с этим маскировка превращается в одну из труднейших проблем современной аудиологии. Так, например, в исследуемом ухе определяется по воздушной проводимости звукопроводящая тугоухость, а в не исследуемом – звуковоспринимающая. В таком случае роль заглушения при исследовании костного слуха будет незначительной, т.к. больной звуковоспринимающий аппарат слабо реагирует на окружающий звуковой фон, а посему требует небольшой интенсивности маскирующего шума 10...20 дБ над порогом слуха. При противоположном соотношении, когда в исследуемом ухе определяется звуковоспринимающая тугоухость, а в не исследуемом звукопроводящая, роль заглушения значительно возрастает. При кондуктивной тугоухости, как известно, костная чувствительность обостряется, и звук от костного вибратора лучше будет восприниматься на стороне не исследуемого уха. В таких случаях интенсивность



маскирующего шума должна быть больше на 20...30 дБ над воздушным порогом заглушающего уха, однако не настолько, чтобы воздействовать на исследуемое ухо [6].

Маскировки не требуются только в том случае, когда одно из ушей является совершенно глухим или резко тугоухим. Во всех остальных случаях, вне зависимости от разницы в остроте слуха между ушами, необходимо использовать заглушающее устройство аудиометра. Наушники воздушных телефонов обязательно надеваются на оба уха одновременно, иначе создаются неравноценные условия для исследования.

Нужно также помнить, что при наличии данных поправки к порогу при калибровке при регистрации костного слуха необходимо вычесть из показателей порогового слуха больного на каждой из частот диапазона показатели, полученные при паспортизации аппарата.

Рассмотрев методы исследования звуковой проводимости можно сделать вывод о том, что существует ряд факторов, влияющих на точность акустических измерений. А поскольку результаты исследования слуха представляются в количественной форме, то к аудиологическому оборудованию можно предъявить вполне конкретные требования относительно точностных характеристик. Особую значимость таких измерений подчеркивает тот факт, что измерения интенсивности тестовых тональных звуковых сигналов при воздушном и костном звукопроведении включены в «Перечень средств измерений государственного регулирования обеспечения единства измерений в здравоохранении» [7].

Метрологические характеристики аудиологического оборудования с течением времени изменяются вследствие ухода значений электрических параметров электронных блоков и аттенюатора уровня тестовых сигналов, чувствительности вибратора и телефона, износа материала и т.д. Чтобы избежать отклонений измерения от истинных параметров, необходимо использовать в исследовании только поверенное аудиологическое оборудование. Поверка проводится в соответствии с нормативными и техническими документами, приложенными к аудиометру, одним из которых является ГОСТ 8.038-94, согласно государственной поверочной схеме которого устанавливается передача единицы звукового давления от государственного первичного эталона рабочим средствам измерений. Поверенное средство измерения (СИ) вносится в Государственный реестр, где размещены основные сведения об утвержденных типах СИ и установлен межповерочный интервал СИ, для аудиометра поверка проводится один раз в год. Это свидетельствует о том, что характеристики СИ ме-

трологически обеспечены, и это средство измерения пригодно для использования.

Современный уровень развития метрологии в области аудиологии позволяет применять различное диагностическое оборудование высокой точности с использованием субъективных и объективных методов исследования слуха на высоком уровне, что уменьшает риск неправильного диагноза. Это расширяет возможности успешного лечения людей с нарушением слуха, учитывая индивидуальные особенности каждого случая. Тем не менее, метрологическое обеспечение аудиометрии все же требует изменений в установлении правил и норм, а также дальнейшего совершенствования методов акустических измерений для достижения единства и требуемой точности.

Литература

1. Звук // Википедия [Электронный ресурс]: Свободная энциклопедия. Режим обращения: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Звук> (дата обращения 04.09.2015).
2. База знаний по биологии человека [Электронный ресурс]: Режим обращения: <http://humbio.ru/humbio/har/0059ff8d.htm> (дата обращения 06.09.2015).
3. ГОСТ Р ИСО 8253-1-2012. Акустика. Методы аудиометрических испытаний. Часть 1. Тональная пороговая аудиометрия по воздушной и костной проводимости [Электронный ресурс]: Введ. в действ. 01.12.2013 Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200100267> (дата обращения 10.09.2015).
4. Таварткиладзе Г.А. Клиническая аудиология / Г.А. Таварткиладзе, Т.Г. Гвелесиани. – М.: Святигор Пресс, 2003. – 74 с.: ил.
5. Альман Я.А. Руководство по аудиологии / Я.А. Альман, Г.А. Таварткиладзе. – М.: ДМК Пресс, 2003. – 360 с.: ил.
6. Блинова Л.П. Акустические измерения / Л.П. Блинова, А.Е. Колесников, Л.Б. Ланганс. – М.: Изд-во стандартов, 1971. – 269 с.
7. Об утверждении Порядка проведения испытаний в целях утверждения типа средств измерений, а также перечня медицинских изделий, относящихся к средствам измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, в отношении которых проводятся испытания в целях утверждения типа средств измерений: приказ министерства здравоохранения РФ от 16 августа 2012 года № 89н // Электронный текст документа подготовлен ЗАО «Кодекс» и сверен по: Российская газета, № 9, 18.01.2013.