

Особенности применения ультразвуковых методик для диагностики и наблюдения пациентов с патологией среднего и внутреннего уха

Аннотация

Проведенные исследования подтвердили актуальное значение ультразвуковых тестов в дифференциальной диагностике различных поражений слуха: отосклероза, адгезивного среднего отита, болезни Меньера и хронического гнойного среднего отита, а также нейросенсорной тугоухости различной этиологии. Разработан новый компактный и недорогой прибор на основе современной элементной базы, обеспечивающий максимальное удобство при проведении дифференциальной диагностики различных форм тугоухости с использованием феномена восприятия ультразвука.

Введение

В последние десятилетия человеческий организм подвергается воздействию различных вредных факторов, которых в процессе его эволюции не существовало. Индустриализация и научно-технический прогресс создали принципиально другую экологическую среду, в которой вынужден обитать человек и к которой за сравнительно короткий срок (десятилетия) невозможно полностью адаптироваться. Наиболее высокая заболеваемость регистрируется на предприятиях тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения, горнорудной промышленности и составляет 9,8 случая на 100 тыс. работающих [1]-[4]. У работников данных предприятий с большим стажем возникает нейросенсорная тугоухость, а при выраженных стадиях заболевания наблюдается снижение слуха не только на высокие, но и на речевые частоты, приводящее к социально значимой тугоухости.

Постоянно увеличивается число детей с дефектами слуха. В структуре заболеваний на долю нарушений слуха и зрения суммарно приходится 17 % всех заболеваний, которые приводят к детской инвалидности. Основными причинами возникновения тугоухости у взрослых и детей являются следующие: вертебрально-базиллярная недостаточность различной этиологии; инфекционные заболевания (грипп, эпидемический паротит, корь, герпес, менингококковый менингит, сифилис, скарлатина и др.); заболевания крови; болезнь Меньера; невринома VIII пары черепных нервов; отосклероз; интоксикации различными ототоксическими препаратами (антибиотики аминогликозидного ряда, стрептомицины, препараты хины, цитостатики, «петлевые» диуретики, анальгетики и др.), бытовыми (никотин, алкоголь) и промышленными (бензин, анилин, фтор, ртуть и др.) токсическими веществами; различные травмы (механо-, аку-, вибро-, баротравмы и воздушная контузия); генетические аномалии (наследственная тугоухость); возрастные изменения (пресбиакузис) и т. д. Инвалидность по слуху присваивается лицам, имеющим двустороннее снижение слуха III степени и выше.

По данным ВОЗ, более 350 млн. человек (7...9 % населения мира) страдают тугоухостью, большинство из них живут в развивающихся странах, а 6 % населения земного шара страдает выраженной тугоухостью, затрудняющей социальное общение. Согласно исследованиям, представленным в журнале «Российская оториноларингология», примерно 16...17 % взрослого населения Европы имеют нарушения слуха в 25 дБ или выше [1]. С каждым годом обращаемость пациентов с этой патологией неуклонно растет. Так, по оценкам ВОЗ, число людей, страдающих нарушением слуха, к 2050 году значительно возрастет и достигнет более 900 млн. человек.

Нейросенсорная тугоухость доминирует среди всех форм тугоухости, составляя 74 %. Нейросенсорная тугоухость является хронической либо острой не гнойной патологией внутреннего уха, проявляющейся снижением слуха, которое достаточно часто встречается в популяции и считается одним из сенсорных дефицитов, значительно снижающих качество жизни

человека. Проблема нарушения слуха по нейросенсорному типу тесно взаимосвязана с изменением демографической ситуации в мире, а именно с возрастными изменениями во внутреннем ухе. Снижение слуха, как правило, начинается после 60 лет, а в возрасте 70 лет и старше выявляется уже в 40...70 % случаев; выраженная тугоухость встречается в 53...64 % случаев у жителей преклонного возраста. Сведения по распространенности нейросенсорной тугоухости могут играть решающую роль в развитии специализированной помощи взрослому населению в регионах.

Эффективность диагностических приемов в аудиологии существенно повышается за счет применения новых методов исследования слуха. Один из таких методов основан на использовании феномена слухового восприятия ультразвука (УЗВ) за счет костной проводимости. Исследования, проведенные Б.М. Сагаловичем, не только подтвердили факт отчетливого восприятия УЗВ человеком (в диапазоне от 20 до 225 кГц), но и обосновали возможность использования УЗВ в аудиологической диагностической практике [2], [3]. Для повышения достоверности диагностики различных поражений слуха необходимо проводить комплексное аудиологическое исследование, т. е. сопоставлять результаты анализа слуховой чувствительности в звуках различного диапазона частот с результатами исследований восприятия пациентом УЗВ [2]. Проведенные исследования подтвердили существенное значение УЗВ-тестов в дифференциальной диагностике нарушений слуха при различных заболеваниях: отосклероз, острый и хронический средний отит, болезнь Меньера, нейросенсорная тугоухость различной этиологии и др. [3].

Исследования восприятия пациентом УЗВ до недавнего времени проводили с использованием лабораторных стендов, включавших в себя стандартный генератор УЗВ-сигналов, электронный ключ, дополнительный осциллятор, усилитель с дискретно регулируемым коэффициентом усиления и пьезоэлектрический излучатель (зонд). Эта методика, приемлемая для научно-исследовательских лабораторий, ввиду своей сложности оказывается малоприменимой для использования в ЛОР-кабинетах клиник, поликлиник и диагностических центров. Низкой оказывается и точность определения порога слышимости УЗВ, обусловленная нестабильностью мощности излучения при различной механической нагрузке на пьезоэлектрический излучатель, возникающей в результате различной силы прижатия излучателя.

В связи с этим была поставлена задача создания компактного и недорогого диагностического прибора на основе современной элементной базы, обеспечивающего максимальное удобство при проведении дифференциальной диагностики различных форм тугоухости с использованием феномена восприятия УЗВ.

Основная часть

В настоящее время в медицине получают все более широкое распространение УЗВ-технологии. Первые УЗВ-лечебные методы основывались на эмпирических наблюдениях, однако

параллельно с развитием УЗВ-физиотерапии разворачивались исследования механизмов биологического действия УЗВ. Их результаты позволяли вносить коррективы в практику применения УЗВ. С учетом вышеизложенного ранее выявление и лечение различных форм тугоухости с использованием уникального метода, разработанного Б.М. Сагаловичем [2], и методик, разработанных А.И. Крюковым [4], является актуальным и практически значимым.

Достоверность дифференциальной диагностики различных форм тугоухости с использованием прибора на основе феномена восприятия УЗВ за счет костной проводимости существенно зависит от характеристик УЗВ-излучателя. Для обеспечения требуемой точности определения порога чувствительности УЗВ (не более 1 дБ в диапазоне изменения уровня УЗВ-сигнала 30 дБ) пьезоэлектрический излучатель должен иметь стабильный уровень УЗВ-колебаний, передаваемых через ткани головы пациента, независимо от их физических параметров. Эта задача является достаточно сложной, но осуществимой.

Разработка нового УЗВ-прибора для диагностики поражений слуха проводилась авторами данного исследования [5], [6]. На рис. 1 показан внешний вид созданного в результате проведения опытно-конструкторской работы УЗВ-аудиотестера «Эхотест-02», который выполнен на основе современной элементной базы, обеспечивающей максимальное удобство при проведении дифференциальной диагностики различных форм тугоухости с использованием феномена восприятия УЗВ.

УЗВ-аудиотестер «Эхотест-02» состоит из следующих основных функциональных узлов: узла формирования сигнала, узла управления, узла индикации и коммутации, пьезоэлектрического преобразователя (зонда), вторичного источника питания. В узле формирования и контроля сигнала формируется рабочий УЗВ-сигнал, который усиливает его и передает на пьезоэлектрический преобразователь (излучатель). Задачей узла формирования и контроля сигнала является также измерение тока и напряжения, подаваемых на зонд. Узел управления на основе микропроцессора управляет цифровым аттенуатором узла формирования и контроля сигнала, а также узлом индикации и коммутации. Узел индикации и коммутации содержит цифровые сегментные индикаторы, служащие для отображения уровня мощности УЗВ-сигнала, подаваемой на зонд, а также кнопки управления уровнем мощности. Задача излучателя – преобразование электрических колебаний в механические. Узел вторичного источника питания формирует стабилизированные напряжения ± 18 , ± 15 , ± 5 , $\pm 2,5$ В для питания электронных узлов прибора.

Прибор работает следующим образом. С выхода генератора УЗВ-частоты модулированный УЗВ-сигнал поступает на вход полосового фильтра, который подавляет паразитные гармоники и комбинационные составляющие, возникающие при модуляции УЗВ-сигнала. Далее модулированный УЗВ-сигнал поступает на вход управляемого аттенуатора. С выхода аттенуатора модулированный УЗВ-сигнал поступает на предварительный усилитель, а затем на выходной усилитель мощности, с выхода которого сигнал поступает на излучатель. Излучатель преобразует электрический сигнал в механические колебания УЗВ-частоты. Микропроцессор осуществляет программное управление управляемым аттенуатором по последовательному интерфейсу, вычисление уровня мощности на излучателе посредством измерения напряжений, пропорциональных уровню выходного напряжения и току излучателя, поступающих с соответствующих детекторов напряжения и тока.

Управление прибором для диагностики поражений слуха осуществляется при помощи кнопок увеличения и уменьшения мощности излучения, а также кнопки изменения скорости регулирования мощности. Таким образом, на выходе прибора формируются пакеты радиоимпульсов с $f = 100$ кГц, длительностью $t_1 = 0,8$ с и периодом следования $t_2 = 1,6$ с. Рабочий цикл и пауза составляют время $t = 0,8$ с. Во время рабочего цикла (подача сигнала УЗВ-частоты на излучатель) из микропроцессора на управляемый аттенуатор поступают коды, соответствующие уровню мощности, введенному кнопками уменьшения и увеличения мощности. При проведении диагностики поражений слуха введение УЗВ пациенту оператором осуществляется посредством пьезоэлектрического излучателя, поверхность которого прижимается к заушной или лобовой части головы через тонкую пленку вазелинового масла. Воздействие УЗВ воспринимается пациентом благодаря наличию костной проводимости. При постепенном увеличении интенсивности УЗВ достигается значение мощности излучения, при котором пациент начинает воспринимать УЗВ как слышимый сигнал. Это позволяет определить дифференциальный порог восприятия УЗВ и соответственно определить степень атрофии слухового нерва. Длительность соприкосновения работающего излучателя с поверхностью сосцевидного отростка не должна превышать нескольких секунд, так как увеличение времени экспозиции УЗВ может повлечь за собой «утомление» – исчезновение слухового эффекта.

Методика диагностики нейросенсорной тугоухости предусматривает предварительное определение нормы слуховой чувствительности к УЗВ на двадцати отолитически здоровых добровольцах в возрасте от 20 до 50 лет. Исследование последней возрастной группы необходимо, так как с возрастом слуховая чувствительность к УЗВ изменяется: происходит закономерное повышение порогов чувствительности к УЗВ, свидетельствующее о старении слуха – пресбиакузисе.

В зависимости от вида патологии слуха методика исследования может несколько различаться. Так, при двусторонней симметричной форме тугоухости методика основана на оценке пороговой чувствительности к УЗВ последовательно для каждого уха в отдельности (в данном случае методика не отличается от описанной выше), а также на сопоставлении полученных данных с таковыми при проведении тональной поро-



Рис. 1. Внешний вид ультразвукового аудиотестера «Эхотест-02»

говой аудиометрии (аудиограммы). В случаях двустороннего асимметричного снижения слуха или односторонней тугоухости (глухоты) определение слуховой чувствительности к УЗВ с сосцевидных отростков утрачивает диагностическое значение, так как всегда происходит переслушивание УЗВ лучше слышащим ухом. В таких случаях следует пользоваться определением латерализации УЗВ установкой излучателя на средней линии лба, подбородка или в области 7-го шейного позвонка.

Медицинские испытания показали, что методика обследования при помощи прибора «Эхотест-02» проста и доступна для каждого отоларинголога и медицинской сестры аудиологического кабинета. Прибор необходим в каждом аудиометрическом кабинете, он может применяться как для диагностики одностороннего поражения слуха, так и при диагностике высокой степени тугоухости, в том числе при двустороннем снижении слуха.

Заключение

По данным Министерства здравоохранения РФ, распространенность заболеваний органа слуха среди взрослого населения России составляет 17,6 на 1 000 человек. Распространенность тугоухости варьирует с учетом возраста. В возрасте от 45 до 64 лет нарушения слуха составляют 14 %, а у лиц старше 65 лет – 30 % случаев. Процент пациентов, которые имеют нарушения слуха и пытаются решить эту проблему, очень низок: 37 % взрослых людей не знают о снижении слуха, а 30 % из оставшихся никогда не проходили какое-либо исследование слуха, при этом от момента появления жалоб на снижение слуха до обращения к врачу часто проходит не менее 2...3 лет.

В России данная патология занимает первое место в структуре профессиональных заболеваний работников всех отраслей экономики и при этом не имеет тенденции к снижению показателей. Возникновение заболевания приводит к профессиональной непригодности, инвалидности по профессиональному заболеванию с последующей материальной компенсацией за потерю здоровья по причине профессиональных факторов, снижению качества жизни работника и экономическим потерям работодателя и государства. Это означает, что масштабы проблемы диагностики и лечения нарушений слуха остаются недооцененными, потребность в приборах для диагностики слуха будет расти.

По результатам проведения медицинских испытаний аудиотестер ультразвуковой «Эхотест-02» рекомендован для серийного производства и применения в медицинской практике, зарегистрирован в РФ (регистрационное удостоверение Росздравнадзора № ФСР 2007/00363).

Список литературы:

1. *Владимирова Т.Ю., Барышевская Л.А., Мартынова А.Б.* Хроническая сенсоневральная тугоухость в структуре заболеваний взрослого населения Самарской области // *Российская оториноларингология*. 2020. № 19 (6). С. 23-29.
2. *Сагалович Б.М.* Слуховое восприятие ультразвука. – М.: Наука, 1988. 288 с.
3. *Лебедев Ю.А., Шахов В.Ю.* Слуховое восприятие ультразвука как метод дифференциальной диагностики отдельных форм тугоухости / *Сборник научных трудов «Ультразвуковая диагностика»*. – Горький, 1983. С. 60-65.
4. *Крюков А.И.* Органная специфика внутреннего уха, особенности патогенеза и лечения лабиринтных расстройств / *Клинико-экспериментальное исследование: Автореферат дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.04*. – Л.: Первый Ленинград. мед. ин-т, 1990. 31 с.

5. *Гудков А.Г., Крюков А.И., Леушин В.Ю., Цыганов Д.И.* Результаты разработки и медицинской апробации ультразвукового аудиотестера «Эхотест-02» // *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2011. № 3. С. 47-53.
6. *Гудков А.Г., Крюков А.И., Леушин В.Ю., Цыганов Д.И.* Ультразвуковой аудиотестер «Эхотест-02» // *Медико-фармацевтический вестник Поволжья*. 2009. № 31 (423). С. 10.

Александр Григорьевич Гудков,
д-р техн. наук, профессор,
кафедра «Технологии приборостроения»,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана»,
генеральный директор,
ООО «НПИ ФИРМА «ГИПЕРИОН»,
Виталий Юрьевич Леушин,
канд. техн. наук, зам. генерального директора,
ООО «НПИ ФИРМА «ГИПЕРИОН»,
Андрей Иванович Крюков,
член-корр. РАН,
д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра оториноларингологии
им. акад. Б.С. Преображенского,
лечебный факультет,
ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова»
Минздрава России,
директор,
ГБУЗ «Научно-исследовательский клинический
институт оториноларингологии
им. Л.И. Свержевского» Департамента
здравоохранения города Москвы,
Наталья Леонидовна Кунельская,
д-р мед. наук, профессор,
кафедра оториноларингологии
им. акад. Б.С. Преображенского,
лечебный факультет,
ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова»
Минздрава России,
зам. директора по научной работе,
ГБУЗ «Научно-исследовательский
клинический институт оториноларингологии
им. Л.И. Свержевского» Департамента
здравоохранения города Москвы,
Светлана Викторовна Агасиева,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра нанотехнологий
и микросистемной техники,
ФГАОУ ВО «Российский университет
дружбы народов»,
Игорь Александрович Сидоров,
канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,
кафедра «Технологии приборостроения»,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана»,
Валерий Владимирович Мищенко,
канд. мед. наук, ст. научный сотрудник,
ГБУЗ «Научно-исследовательский клинический
институт оториноларингологии
им. Л.И. Свержевского» Департамента
здравоохранения города Москвы,
г. Москва,
e-mail: ooo.giperion@gmail.com