зазоров между элементами решетки сопровождается образованием звукового поля внутри решетки и нарушением равномерности поля вне решетки.

Звуковое поле внутри решетки (фиг. 2 и 3) характеризуется наличием осцилляций, величина которых зависит от волновых размеров решетки и угловых размеров зазоров. При этом значительное увеличение давления имеет место вблизи продольной оси решетки, поскольку звуковые волны, излучаемые всеми зазорами, приходят к оси решетки в одной и той же фазе. Уменьшение угловых размеров зазоров приводит к увеличению амплитуд осцилляций.

Характер распределения давления вдоль радиуса внутренней области решетки не зависит от угловых размеров зазоров и определяется волновыми размерами решетки.

Звуковое поле вне решетки при наличии зазоров приобретает сложный вид. Его амплитуда (фиг. 4) и фаза (фиг. 5) не только осциллируют вдоль внешней поверхности решетки, но и резко отличаются по величине для тех участков поверхности, которые соответствуют элементам и зазорам. Эти особенности поля характерны для больших угловых размеров зазоров. При уменьшении последних, начиная с некоторой величины, осцилляции в угловом распределении поля сглаживаются, а неравномерность распределений амплитуды и фазы поля на поверхности элементов и в зазорах уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вовк И. В., Гринченко В. Т., Маяцкий В. И.* Звуковое поле бесконечного кругового цилиндрического преобразователя, частично покрытого слоем акустически мягкого материала. Акуст ж., 1972, *18*, 3, 365–369.

Поступила
11 января 1978 г.

УДК 616.28.14

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКОМ ФРОНТА НАРАСТАНИЯ ЗВУКОВЫХ СТИМУЛОВ

Б. М. Сагалович, В. Н. Цуканова

Наряду со стационарными признаками звукового стимула отологически нормальные слушатели способны различать переходные его процессы. Это относится, в частности, к включению и выключению звукового сигнала. Такие признаки сигнала могут играть весьма важную роль в его опознании. В ряде случаев они представляются более существенными, чем стационарные признаки сигнала. Одним из главных переходных признаков звукового сигнала является изменение его фронта нарастания. Лица с нормальным слухом способны дифференцировать эти изменения по различным критериям [1, 2]. Как следует из данных электрофизиологической регистрации вызванных потенциалов слуховой зоны коры головного мозга, изменения фронта нарастания звуковых стимулов отражаются в слуховом ответе более выраженно, чем изменения длительности звукового стимула. Эти факты получены как при экспериментах на животных, так и в исследованиях на людях [3–5].

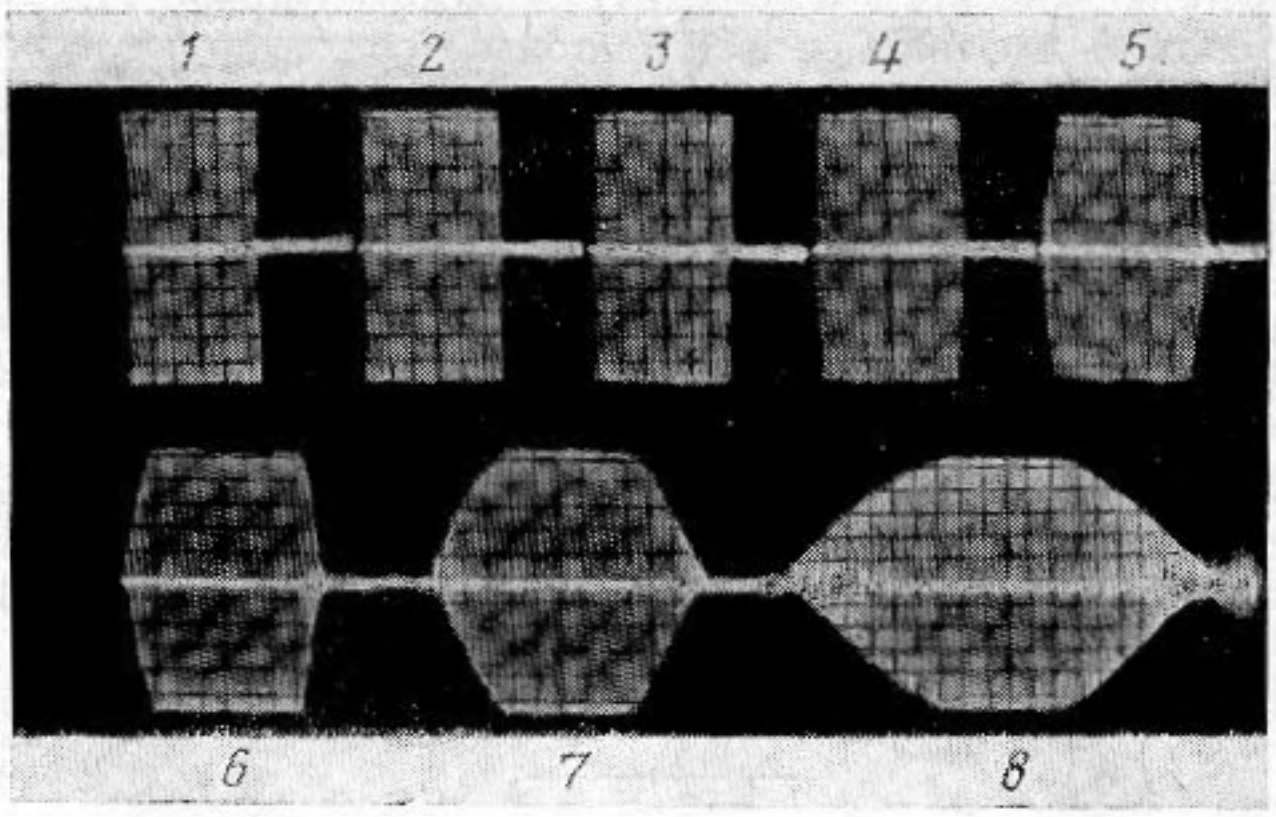
Ниже представлены результаты изучения способности дифференцирования тонов по крутизне фронта их нарастания у отологически нормальных лиц различных возрастных групп. Обследованию подверглись 80 человек, составивших 7 возрастных групп. В первую группу из 20 человек были включены лица в возрасте 18–20 лет и эта группа была принята за базовую. Остальные 6 групп включали в себя по 10 человек в возрасте соответственно 21–30, 31–40, 41–50, 51–60, 61–70 и 71–80 лет. Все испытуемые предварительно подвергались тональной аудиометрии и тщательной отоскопии. При наличии каких-либо отклонений от нормы обследованные лица исключались из основных испытаний.

Звуковые стимулы формировались с помощью задающего генератора прямоугольных импульсов, генератора нарастающего и падающего напряжения, формировавшего трапециевидные импульсы, модулятора, усилителя низкой частоты с аттенюатором и электродинамического телефона. Составленное из этих компонентов устройство позволяло строго дозировать и произвольно изменять фронт нарастания и спада звуковых стимулов в пределах от 0 до 100 *мс*. Стимулы заполнялись частотами 500, 1000 и 4000 *Гц*. Постоянная длительность стимула во всех случаях составляла 100 *мс*, а интенсивность – 40 *дБ* над порогом слышимости. На фигуре представлены осциллограммы звуковых стимулов, использовавшихся при опытах.

Испытуемым предъявлялись для различения спаренные сигналы таким образом, чтобы получить ответ об идентичности или различии сигналов, составляющих пару. Критерием различения сигналов в паре служили громкость и плавность нарастания.

Всего предлагалось 9 пар, составленных из сигналов с фронтом нарастания 100 и 50 *мс*, 50 и 20 *мс*, 20 и 10 *мс*, 0 и 5 *мс*, 3 и 7 *мс*, 0 и 3 *мс*, 7 и 10 *мс*, 5 и 7 *мс*, 3 и 5 *мс*. Интервал между сигналами в паре составлял 500 *мс*. Каждая пара предъявлялась последовательно многократно (8–10 раз) до получения ответа испытуемого с интервалом 500 *мс* в квазислучайном порядке. С целью избежания слухового утомления испытуемых опыты проводились в несколько приемов с интервалом для отдыха.

В результате оказалось, что лица базовой группы безошибочно различают звуковые стимулы, если разница фронта нарастания их составляет 5 *мс* и более. При разнице фронта нарастания меньше 5 *мс* различение тонов становится незаконо-



Осциллограммы звуковых стимулов с различной крутизной фронта нарастания (мс): *1* — 0; *2* — 3; *3* — 5; *4* — 7; *5* — 10; *6* — 20; *7* — 50; *8* — 100

мерным, а при уменьшении разницы фронта нарастания стимулов до 2 *мс* различение их полностью утрачивается всеми испытуемыми. Обращает на себя внимание, что острота различения находилась в определенной зависимости не только от разницы фронта нарастания, но и от самой крутизны фронта нарастания: менее отчетливо испытуемые различали сигналы с меньшей крутизной фронта нарастания по сравнению с сигналами, имевшими бóльшую крутизну фронта нарастания при одинаковой разнице между длительностью фронта нарастания первого и второго сигналов, составлявших пару. Вместе с тем мы не могли обнаружить зависимость способности различения фронта нарастания сигналов от частоты их заполнения. Аналогичные данные были получены при обследовании лиц в возрасте до 30 лет. Но уже в следующей возрастной группе обнаружилось закономерное ухудшение различения тонов по фронту их нарастания. Это ухудшение прогрессировало в каждой возрастной группе и достигало максимума у лиц 71–80 лет (таблица).

Интересно отметить, что у лиц с нарушением слуха иного происхождения, т. е. не обусловленного пресбиакузисом, сколько-нибудь закономерных сдвигов в способности различать фронт нарастания стимулов не наблюдалось. У них, как показало дополнительное обследование 100 человек, способность различения стимулов по фронту нарастания также зависела только от возраста.

Число лиц, различавших стимулы в каждой паре по фронту нарастания в различных возрастных группах (=10)

Фронт нарастания, *мс*		18—30 лет	31—40 лет	41—50 лет	51—60 лет	61—70 лет	71—80 лет
I стимул	II стимул						
100	50	10	10	10	10	10	10
50	20	10	10	10	10	10	7
20	10	10	10	10	10	5	2
5	0	10	10	8	5	0	0
7	3	9	8	3	2	0	0
3	0	8	3	1	1	0	0
10	7	8	2	1	0	0	0
7	5	3	3	0	0	0	0
5	3	2	0	0	0	0	0

Таким образом, все изложенное позволяет сделать вывод о том, что нарушение способности различения тональных стимулов по фронту их нарастания представляет аудиологический тест, специфичный для выявления признаков возрастной инволюции слуха – пресбиакузиса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гершуни Г. В., Авакян Р. В., Бару А. В., Миронова Л. М.* О различении звуков с разным временем нарастания. В кн.: Эволюция функций. Сб., посвящ. 80-летию акад. Л. А. Орбели. М.— Л., «Наука», 1964, 66—75.
2. *Калмыкова И. В.* Зависимость величины дифференциального порога по крутизне фронта нарастания от частоты сигнала. В кн..: VII Всес. акустич. конф., М., 1971, 10—11.
3. *Skinner P., Antinoro F.* The effects of signal rise time and duration of the early components of the auditory evoked cortical response. J. Speech. Hear Res., 1971, *14*, 3, 551—558.
4. *Сагалович Б. М., Мелкумова Г. Г.* Зависимость вызванных потенциалов слуховой зоны коры головного мозга от параметров акустического сигнала. Бюл. экспер. биол. и медицины, 1976, *10*, 1161—1163.
5. *Сагалович Б. М., Мелкумова Г. Г.* Возможности исследования слуха у людей с помощью компьютерной аудиометрии. Вестн. оториноларн., 1973, 3, 3–11.

Московский научно-исследовательский институт уха, горла и носа

Поступила 21 октября 1977 г.
После повторного исправления 5 июня 1978 г.

УДК 534.29

ОБ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОМ ЭХО В ПОРОШКАХ

А. А. Чабан

Долговременная электроакустическая память в порошках пьезодиэлектриков была экспериментально обнаружена в работах [1–4]. В работах [5, 6] предложен ориентационный механизм явления. Ниже дано существенное обобщение развитой ранее теории [5].

В работе [5] рассматривался простой случай свободно падающего пьезоактивного порошка. Каждая крупинка под действием двух последовательных импульсов переменного электрического поля совершала поворот определенного типа. Именно эта совокупность поворотов крупинок и приводила к появлению эхо-сигналов после подачи третьего импульса. Для простоты было предположено, что эффективность возбуждения в каждой крупинке упругих колебаний (и электрического дипольного момента соответственно) не изменяется существенным образом после ее поворота. В принципе же, если крупинка повернулась так, что дает вклад в сигнал эха, и при этом эффективность возбуждения в ней упругих колебаний, например, увеличилась, то ясно, что и весь сигнал эха может увеличиться [6]. Точный расчет, результаты которого приведены ниже, показывает, что это обобщение задачи при количественном рассмотрении очень важно. Соответствующая поправка может быть сравнима со всей полученной ранее оценкой величины эха. Мы укажем также на некоторые другие усовершенствования предшествующей теории. Они позволяют построить теорию для свободно падающих сферических крупинок, пригодную для количественного сравнения с соответствующим экспериментом.

Пусть каждая крупинка имеет сферическую форму и изготовлена из пьезодиэлектрического кристалла средней сингонии с единственной особенной осью (такое предположение предпочтительнее сделанного в [5], так как снимает ряд непринципиальных вопросов). Диэлектрической анизотропией кристалла в расчетах будем пренебрегать, считая выполненным условие

$$eA \gg \Delta\varepsilon E_0, \tag{1}$$

где e – характерное значение пьезомодуля, A – средняя величина амплитуды относительной деформации, $\Delta\varepsilon$ – наибольшая разность главных значений тензора диэлектрической проницаемости, E_0 – амплитуда внешнего переменного электрического поля. Условие (1) удобнее, чем использованное ранее предположение о диэлектрической изотропии кристалла.

Ориентацию n-й крупинки относительно лабораторной системы координат X, Y, Z описываем с помощью углов Эйлера θ_n, φ_n, ψ_n, вводя их в таком же виде, как это принято в работе [7]. Ось Z выбираем вдоль направления внешнего элек-