

ОСОБЕННОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОРОГОВ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ ДЛЯ КОРОТКОГО ЗВУКОВОГО СИГНАЛА

Р. В. Авакян, Е. А. Радионова

На двух испытуемых исследовались дифференциальные пороги по интенсивности для короткого звукового сигнала (щелчка) на разных уровнях интенсивности — от 10 до 90 дб над порогом слышимости. Показано, что кривая дифференциальных порогов для щелчков существенно отличается от хорошо известных кривых дифференциальных порогов для более длительных звуковых сигналов наличием «горба» в средней части: при уровне интенсивности в 40—70 дб дифференциальный порог для щелчков на 1,3—1,9 дб выше, чем при более низкой и более высокой интенсивности. Предполагается, что это явление связано с существованием двух отличающихся по порогу групп элементов в периферическом отделе слухового анализатора и с тем обстоятельством, что интенсивность коротких звуковых сигналов измеряется в слуховой системе числом синхронно отвечающих элементов.

Интенсивность звуковых сигналов может измеряться слуховой системой при помощи двух механизмов: 1) числом или частотой нервных импульсов в отдельных нейронах и 2) количеством нейронов, синхронно отвечающих на сигнал [1, 2]. Было высказано предположение [3, 4], что для измерения интенсивности короткого звукового сигнала используется второй из этих механизмов, т. е. что интенсивность коротких сигналов оценивается в слуховой системе числом нервных элементов, одновременно отвечающих на сигнал. Было показано, что уже на уровне первого нейрона слуховой системы количество нервных элементов, одновременно отвечающих на сигнал, возрастает с возрастанием интенсивности сигнала не монотонно: в области средних интенсивностей этот процесс замедляется [4, 5]. В результате (по данным электрофизиологического исследования [4]) на уровне первого нейрона слуховой системы дифференциальные пороги по интенсивности для коротких сигналов оказываются несколько повышенными в области средних интенсивностей. В то же время известно, что подобное явление не наблюдается при исследовании (в эксперименте на человеке) дифференциальных порогов по интенсивности для более длительных сигналов (см. [6—8]).

В связи с этим представлялось интересным провести измерение дифференциальных порогов по интенсивности для короткого звукового сигнала на человеке, поскольку в литературе нам не удалось найти данных, касающихся измерения дифференциальных порогов по интенсивности для коротких звуковых сигналов в достаточно широком диапазоне изменения интенсивности (в известной работе Гарнера и Миллера [2] дифференциальные пороги для коротких тонов были определены лишь на двух уровнях интенсивности).

В настоящей работе в качестве короткого звукового сигнала использовался щелчок, длительность которого (по измерениям с помощью акустического зонда) составляла около 0,3 мсек. Источником щелчков служил генератор электрических импульсов, имеющий два независимых выхода, излучателем звука — электродинамический телефон. Интенсивность

щелчков регулировалась с помощью аттенуаторов, отградуированных в децибелах. Амплитудная характеристика звуковой системы в рабочем диапазоне интенсивности была линейной. Опыты проводились в заглушенной камере; связь между экспериментатором и испытуемым осуществлялась через микрофон.

При измерении дифференциальных порогов по интенсивности испытуемому предъявлялась пара щелчков, следующих друг за другом с интервалом в 300 мсек (этот интервал был предварительно определен как наиболее удобный для испытуемых). Интенсивность первого щелчка оставалась постоянной, интенсивность второго увеличивалась, начиная от -20 дб по отношению к интенсивности первого щелчка, до тех пор, пока испытуемый не оценивал оба щелчка как одинаковые. За порог принималась та минимальная разница в интенсивности щелчков, которая еще констатировалась испытуемым. Изменение интенсивности второго щелчка проводилось ступенями — вначале по 5 дб, а затем, по мере приближения к порогу, — по 1 дб. Интервал между последовательными парами щелчков составлял 2—3 сек.

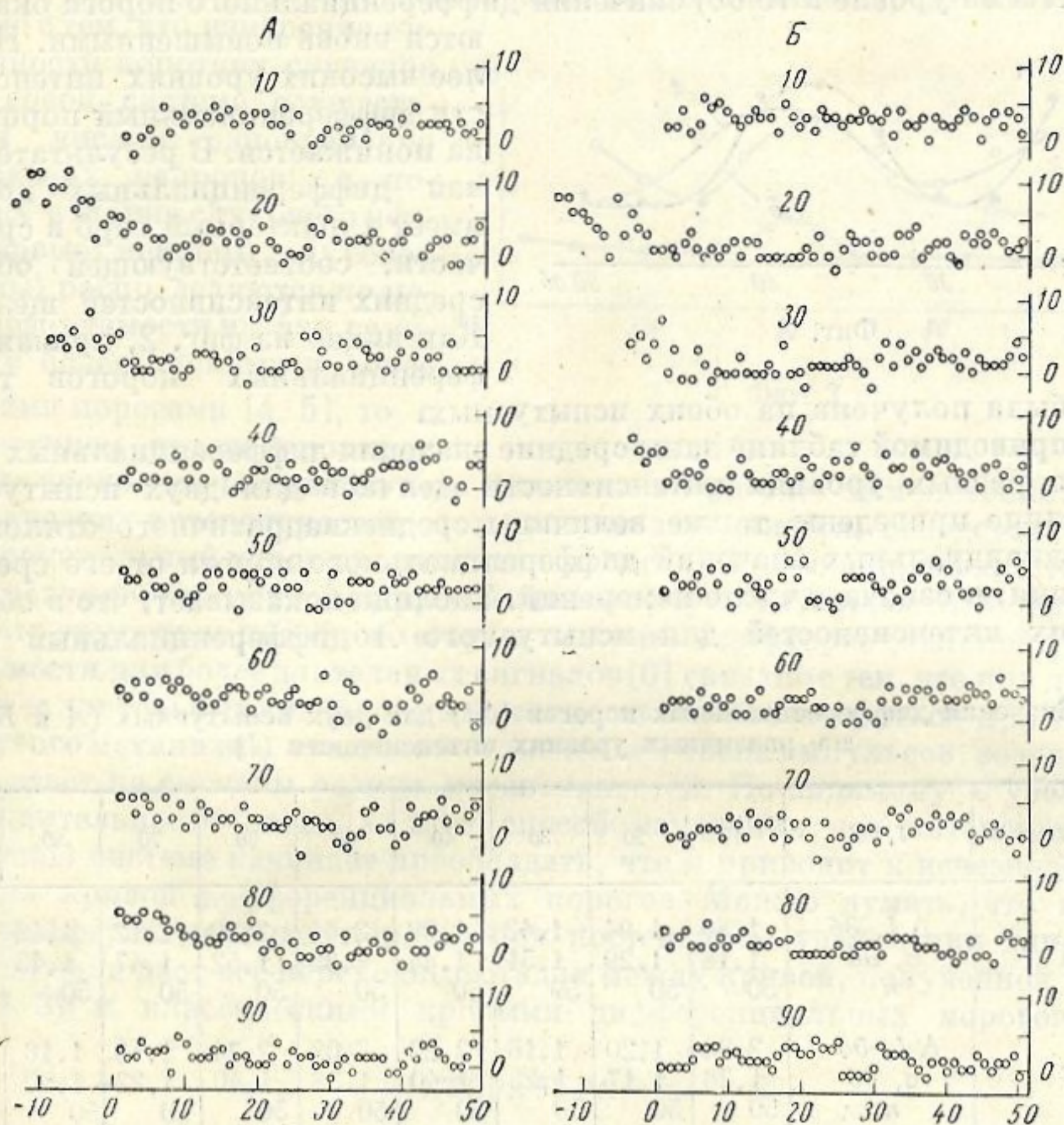
Каждый опыт начинался с определения абсолютного порога слышимости, после чего проводилось измерение дифференциальных порогов для щелчков интенсивностью в 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 и 90 дб над порогом слышимости испытуемого. Специальная проверка показала, что последовательность уровней интенсивности, на которых измерялись дифференциальные пороги, не оказывает заметного влияния на величину последних. Ввиду этого последовательность уровней интенсивностей выбиралась экспериментатором в каждом опыте произвольно. На каждом из девяти уровней интенсивности дифференциальный порог определялся пять раз, т. е. в каждом опыте проводилось 45 измерений дифференциальных порогов. После каждых десяти измерений (на двух уровнях интенсивности) испытуемый отдыхал в течение 5—7 мин. Продолжительность опыта составляла около 1,5 час.

Работа была проведена на двух испытуемых (они же экспериментаторы). Знакомство испытуемых с процедурой измерений не вносило какой бы то ни было предвзятости в оценку ими сигналов, поскольку при нарочитом изменении стандартной процедуры (т. е. при изменении числа предъявляемых пар щелчков) оценка сигналов испытуемым либо вообще не изменялась, либо изменялась в пределах обычных колебаний, причем часто это изменение было не однозначным при изменении процедуры. Опрос испытуемых в ходе эксперимента показал, что они не могут правильно определить, отличается ли и в какую сторону (больше, меньше) число предъявляемых ему пар сигналов в данном измерении по сравнению с предыдущим. Поэтому можно считать, что в оценку сигналов испытуемым действительно не вносилось какой бы то ни было предвзятости.

Абсолютная слуховая чувствительность обоих испытуемых была нормальной: на частоте 1000 гц порог слышимости для испытуемого А составлял 8 дб, для испытуемого В — 6,5 дб над уровнем в 0,0002 бар. Порог слышимости для щелчков измерялся в децибелах затухания относительно выходного напряжения генератора и для испытуемого А составлял в среднем $96,2 \pm 1,2$ дб, для испытуемого В — $95,7 \pm 1,1$ дб.

Определение минимального различия в интенсивности пары щелчков является для испытуемых весьма трудной задачей, в особенности при работе на низких уровнях интенсивности щелчков. Несмотря на тренированность испытуемых в акустических измерениях, дифференциальные пороги для щелчков малой интенсивности в первых опытах были значительно выше, чем в последующих. В частности, при интенсивности щелчков в 10 дб определить дифференциальный порог в первое время вообще не представлялось возможным; для этой интенсивности дифференциальные пороги были определены лишь после того, как была проделана половина всех измерений.

На фиг. 1 представлены результаты измерений дифференциальных порогов для двух испытуемых (А и Б). Каждая точка на фиг. 1 является результатом одного измерения. По абсциссе отложен порядковый номер измерения, по ординате — дифференциальный порог в децибелах. Цифры в середине обозначают уровень интенсивности, на котором проводилось

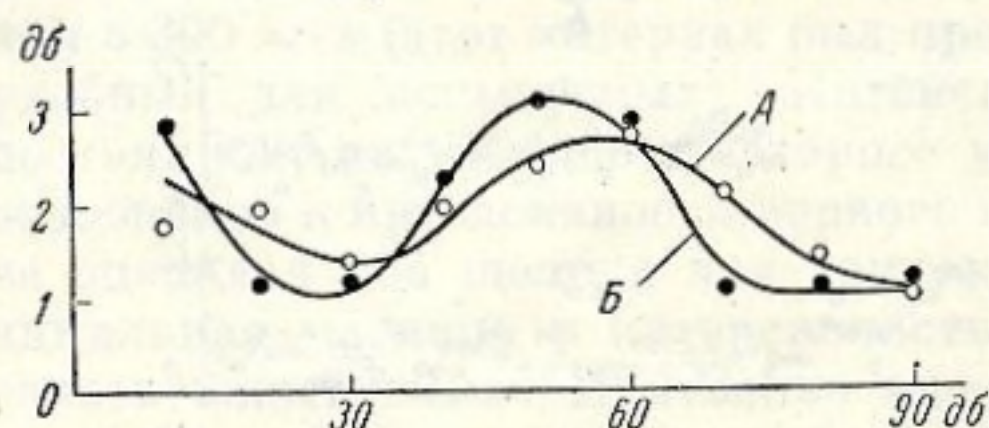


Фиг. 1

определение дифференциального порога. Из фиг. 1 видно, что у обоих испытуемых дифференциальные пороги для щелчков интенсивностью в 20—30 дб в первое время были заметно выше, чем в последующее; у испытуемого Б это явление наблюдалось и на интенсивности в 40 дб. Понижение дифференциальных порогов для этих интенсивностей с течением времени, по-видимому, является результатом тренировки; в течение 1—3 опытов этот процесс заканчивался, и в дальнейшем пороги стабилизировались около некоторого среднего значения. На интенсивности в 10 дб стадии тренировки не наблюдалось, по-видимому, в связи с тем, что на этой интенсивности дифференциальные пороги измерялись после проведения половины всех измерений. Средние значения дифференциальных порогов вычислялись из 50 измерений, проведенных после того как процесс тренировки заканчивался и дифференциальные пороги стабилизировались; в связи с этим на фиг. 1 точки, соответствующие измерениям, проведенным в период до стабилизации порогов, находятся слева от нуля.

С изменением уровня интенсивности щелчков величина дифференциального порога изменяется весьма характерным образом. На фиг. 2 показана зависимость средней величины дифференциального порога (для двух испытуемых — А и Б) от уровня интенсивности щелчков. Как видно из

фигуры 2, кривая зависимости величин дифференциального порога от уровня интенсивности щелчков имеет сложную форму. По мере перехода от малой надпороговой интенсивности (10 дб) до уровня в 30 дб, дифференциальный порог постепенно понижается (как это имеет место и для более длительных сигналов [6]), однако на уровнях в 40, 50, 60 дб (а для испытуемого А и на уровне в 70 дб) значения дифференциального порога оказываются вновь повышенными. На более высоких уровнях интенсивности дифференциальный порог снова понижается. В результате, кривая дифференциальных порогов имеет характерный горб в средней части, соответствующей области средних интенсивностей щелчков. Как видно из фиг. 2, кривая дифференциальных порогов такого



Фиг. 2

вида была получена на обоих испытуемых.

В приводимой таблице даны средние значения дифференциальных порогов на разных уровнях интенсивности щелчков для двух испытуемых. В таблице приведены также величины среднеквадратичного отклонения (σ) индивидуальных значений дифференциального порога от его среднего значения; n означает число измерений. Таблица показывает, что в области средних интенсивностей для испытуемого А дифференциальный порог

Значения дифференциальных порогов (ΔI) для двух испытуемых (А и В) на различных уровнях интенсивности (I)

Испытуемые	I, дб	10	20	30	40	50	60	70	80	90
А	ΔI , дб	1,80	1,94	1,42	1,98	2,44	2,70	2,12	1,46	1,04
	σ , дб	1,16	1,29	1,51	1,44	1,33	1,52	1,47	1,43	1,03
	n	50	50	50	50	50	50	50	50	50
В	ΔI , дб	2,84	1,20	1,16	2,22	3,08	2,74	1,18	1,16	1,18
	σ , дб	1,26	1,17	1,23	1,40	1,38	1,40	1,22	1,00	1,15
	n	50	50	50	50	50	50	50	50	50

повышается от величины в 1,42 дб (при интенсивности щелчка в 30 дб) до величины в 2,7 дб (при интенсивности в 60 дб), т. е. на 1,28 дб. Для испытуемого В повышение дифференциального порога при переходе от уровня интенсивности в 30 дб к уровню в 50 дб составляет 1,92 дб. Для обоих испытуемых повышение дифференциального порога является статистически достоверным: вероятность случайного различия дифференциальных порогов на уровнях в 30 и 50 дб в обоих случаях составляет менее 0,001. Из таблицы видно также, что при изменении уровня интенсивности щелчков от 10 до 90 дб σ изменяется в пределах 1—1,5 дб.

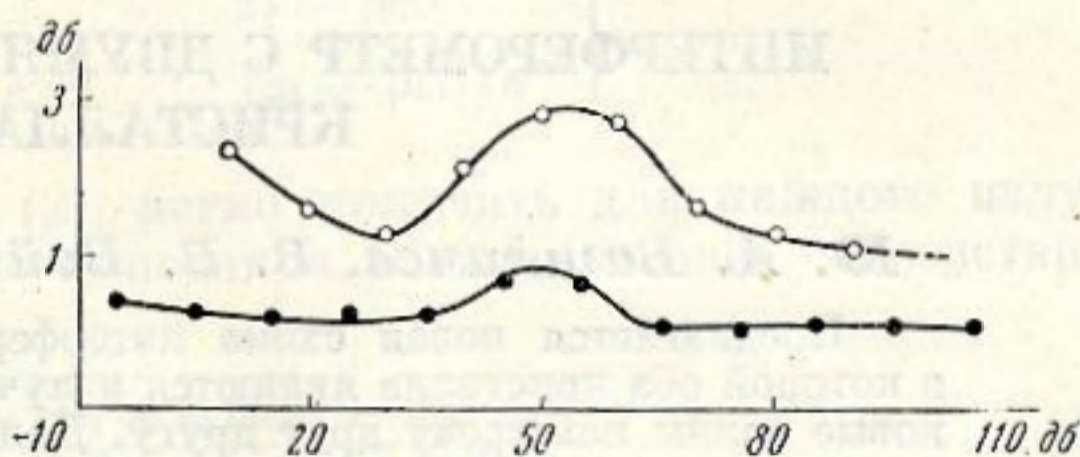
Наличие горба на кривой дифференциальных порогов для короткого звукового сигнала (фиг. 2) является характерной особенностью по сравнению с хорошо известными кривыми дифференциальных порогов для более длительных сигналов [6]. Естественно, возникает вопрос, с чем связана эта особенность.

При обсуждении этого вопроса необходимо иметь в виду данные оценки дифференциальных порогов по интенсивности, полученные при исследовании нервных ответов улитки у кошки на щелчок [4]. На фиг. 3 для сравнения приведены результаты определения дифференциальных порогов на щелчок для человека (верхняя кривая, средние результаты из данных для двух испытуемых, приведенных на фиг. 2) и для кошки (нижняя кривая, средние результаты для десяти животных, полученные в

электрофизиологическом эксперименте на периферическом отделе слухового анализатора [4]). Видно, что обе кривые качественно являются совершенно однотипными. Следовательно, можно заключить, что повышение дифференциальных порогов для короткого звукового сигнала в области средних интенсивностей у человека обусловлено процессами, происходящими уже на периферии. Было высказано предположение [4], что это явление связано с тем, что измерение интенсивности коротких сигналов

в слуховой системе осуществляется числом одновременно отвечающих нейронов; а поскольку волокна слухового нерва (первые нейроны слуховой системы) распределяются по порогу возбудимости на две группы — с более низкими и более высокими порогами [4, 5], то с возрастанием интенсивности и

сигнала число отвечающих на него элементов возрастает не монотонно: в области средних интенсивностей этот процесс замедляется, вследствие чего дифференциальный порог на этих интенсивностях оказывается повышенным [4], образуя горб на кривой дифференциальной чувствительности. Можно думать, что отсутствие подобного «горба» на кривых дифференциальной чувствительности для более длительных сигналов [6] связано с тем, что при действии более длительных сигналов интенсивность может измеряться при помощи другого механизма, а именно — изменением числа импульсов, возникающих в ответ на сигналы разных интенсивностей. По-видимому с увеличением длительности сигнала этот способ измерения его интенсивности в слуховой системе начинает преобладать, что и приводит к исчезновению горба на кривой дифференциальных порогов. Можно думать, что измерение дифференциальных порогов при постепенном увеличении длительности сигнала даст все переходные стадии между кривой, полученной нами (фиг. 2, 3) и классическими кривыми дифференциальных порогов [6].



Фиг. 3

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Гершун и. Механизмы деятельности органа слуха и некоторых других рецепторов в свете современных электрофизиологических исследований. Усп. совр. биол., 1940, 13, 1 (4), 1—40.
2. W. R. Garner, G. A. Miller. Differential sensitivity to intensity as a function of the duration of the comparison tone. J. Exp. Psychol., 1944, 34, 6, 450—463.
3. Г. В. Гершун и. Оценка функционального значения электрических ответов слуховой системы. Сообщение 1. Физиол. ж. СССР, 1962, 48, 3, 241—250.
4. Е. А. Радионова. Об измерении интенсивности короткого звукового сигнала на уровне первого нейрона слуховой системы. Акуст. ж., 1962, 8, 4, 447—453.
5. L. S. Frishkopf, W. A. Rosenblith. Fluctuations in neural thresholds. Symposium on information theory in biology. L., 1958, 153—168.
6. С. Н. Ржевкин. Слух и речь в свете современных физических исследований. М.—Л., ОНТИ, 1936.
7. R. Chocholle. Etude statistique de la sensibilite auditive differentielle d'intensite. Acustica, 1955, 5, 2, 135—141.
8. Р. В. Авакян. Измерение дифференциальных порогов с помощью условных мигательных рефлексов и речевого отчета испытуемых. Ж. высш. нервн. деят., 1961, 11, 5, 843—848.

Институт физиологии
им. И. П. Павлова АН СССР
Ленинград

Поступила в редакцию
2 ноября 1961 г.