



COMPANY GROUP
«INTELLEKT»

SCIENCECENTRE

Наука и образование в современном мире. Сборник научных трудов, выпуск 1: по материалам международной научно-практической конференции, Москва, 30 июня 2015 г.

**Е.Л. Овчинников, К.А. Адыширин-Заде, Н.А. Ромашова,
Т.Ю. Владимирова, Т.И. Минаева**

**ПРИКЛАДНАЯ БИОИНФОРМАТИКА В ИССЛЕДОВАНИИ СЛУХА:
2. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В УСТАНОВЛЕНИИ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУХОВЫХ РЕЦЕПТОРОВ ПО ЧАСТОТАМ**

Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

DOI:10.18411/sc2015-06-6-9

Реферат

Цель: Математическое обоснование к установлению распределения координат слуховых рецепторов по воспринимаемым ими звуковым частотам.

Объекты и методы: Элементами исследования являются результаты классической экспериментальной базы изучения слуха. Использовались статистические методы и методы математического анализа, общетеоретический подход и математического моделирования.

Результаты: Представлено аналитического решения распределения слуховых рецепторов по воспринимаемым ими звуковым частотам.

Ключевые слова: акустическая модель слуха; экспериментально-теоретическое обоснование; статистическая гипотеза; методы математического анализа ;распределение слуховых рецепторов по частотам

ВВЕДЕНИЕ

Согласно Н. Helmholtz [1], структуры системы слуховой рецепции зависимы от частоты звука [2, 3]. Эта зависимость была экспериментально отражена работами G. von Bekesy [4] и стала весьма значимой, заслуженно получив статус классической: ее итоги "широко цитируются сегодня" [5]. Но

научно-теоретического обоснования экспериментальная база не получила, "старые вопросы остаются без ответа" [6].

Аналитическое решение распределения слуховых рецепторов по частотам остается проблематичным.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Общие замечания

На основе экспериментов G. von Békésy [4] нами была высказана статистическая гипотеза, выражающая связь между явными признаками, описывающими поведение биологических и физических параметров, характеризующих структуры и процессы слуховой рецепции. Если привести тестируемые частоты f из выборки экспериментальной базы G. von Békésy [4] к виду десятичного логарифма их отношения к максимально воспринимаемой ухом частоте $f_{mo} = 20$ кГц как

$$F = \lg(f/f_{mo}), \quad (1)$$

а координаты рецепторов ℓ – к виду двоичного логарифма их отношения к стандартной длине базилярной мембраны $L_o = 32$ мм как

$$D = \log_2(\ell/L_{mo}), \quad (2)$$

то можно установить, что между этими величинами, (1) и (2), разной физической природы, устанавливается корреляционная зависимость [7, 8] функционального характера.

Математически это можно представить в виде экспериментального соотношения

$$\Delta D = k \Delta F. \quad (3)$$

а сама гипотеза приобретает следующий смысл: приращения десятичного логарифма отношения тестируемой частоты к максимально воспринимаемой ухом частоте ΔF и приращения двоичного логарифма отношения координат рецепторов к стандартной длине базилярной мембраны ΔD .

2. Обоснование метода построения модели

Теоретическое обоснование построения модели состоит в том, чтобы развить статистическую гипотезу до получения функциональной зависимости

между параметрами тестируемого звука и линейных характеристик структур внутреннего уха.

Переход от конечных разностей к бесконечно малым в корреляционной зависимости (3), дает дифференциальное уравнение, решение которого может привести к искомому результату. При этом получаем уравнение

$$dD = k dF, \quad (4)$$

интегрируя которое в неопределенных интегралах $\int dD = k \int dF$, имеем общее

решение $D = k F + \text{const}$, или, возвращаясь к старым переменным, $\log_2\left(\frac{\ell}{L_0}\right)$

$= k \lg\left(\frac{f}{f_{mo}}\right) + \text{const}$. Постоянная интегрирования const определяется его

частным решением при использовании начального условия, при котором для $f =$

f_{mo} имеем $L = L_0$, из чего следует, что $\text{const} = 0$. Тогда $\log_2\left(\frac{\ell}{L_0}\right) = k \lg\left(\frac{f}{f_{mo}}\right)$.

Для определения коэффициента пропорциональности k воспользуемся граничным условием, для которого при $f = f_0 = 20$ Гц имеем $\ell = \ell_0 = \frac{1}{2}$ мм, \log_2

$\left(\frac{\ell_0}{L_0}\right) = k \lg\left(\frac{f_0}{f_{mo}}\right)$. из чего следует, что $k = 2$.

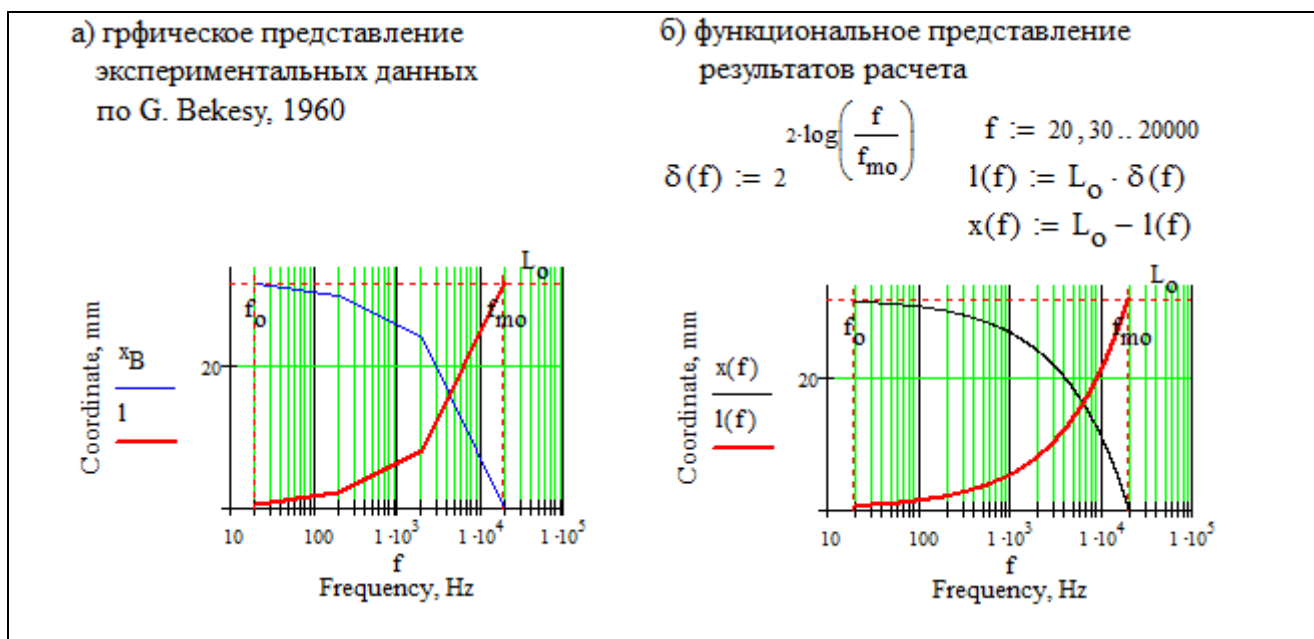


Рис 1. Графическое представление экспериментальных данных (а) по G. von Bekesy [4] и их функциональный вид (б).

Окончательно имеем $\log_2\left(\frac{\ell}{L_0}\right) = 2 \lg\left(\frac{f}{f_{mo}}\right)$ и, как результат, – уравнение распределения безразмерных координат рецепторов $\delta(f)$, реагирующих на частоту f , в виде

$$\delta(f) = 2^{-2 \cdot \lg \frac{f}{f_{mo}}}, \quad (5)$$

а также осевых координат

$$\ell(f) = L_0 \cdot 2^{-2 \cdot \lg \frac{f}{f_{mo}}}, \quad (6)$$

$$x(f) = L_0 \left(1 - 2^{-2 \cdot \lg \frac{f}{f_{mo}}} \right). \quad (7)$$

На рис. 16 представлен графический расчет функциональных зависимостей (6) и (7) в сравнении с экспериментальными данными G.von Bekesy [4] (рис. 16).

ОБСУЖДЕНИЕ

Научный анализ экспериментальных данных с установлением статистической гипотезы и ее теоретическое обоснование привели к открытию функциональной связи распределения координат слуховых рецепторов по частотам. Кроме теоретического значения установленных соотношений [7, 8], они приобретают успешность в вычислительной биологии [9, 10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, получено функциональные соотношения, устанавливающие распределение по частотам слуховых рецепторов на базилярной мембране. Модель получила серьезное научно-теоретическое обоснование, представленное как полумодель в патенте [11], статьях [12, 13], и как полная модель – в работе [14].

Литература

1. Helmholtz H. Die Lehre den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Braunschweig: F. Vieweg und Sohn; 1863.

2. Koenig W. A new frequency scale for acoustic measurements. Bell Laboratory Record, 1949.
3. Schuknecht HF. Pathology of the Ear. A Commonwealth Fund Book. Harvard Univ. Press, Cambridge Massachusetts; 1974.
4. von Békésy G. The variations of phase along the basilar membrane with sinusoidal vibrations. // J. Acoust. Soc Am. 1947, 19:452–460.
5. Bell A. Hearing: Travelling Wave or Resonance? PLoS Biol., 2004; 2(10). 1521 – 1523.
6. Dallos P. Organ of Corti Kinematics. J. of the Association for Research in Otolaryngol, 2003; Springer-Verlag, NY, doi: 10.1007/s10162-002-3049-z.
7. Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Александрова Н.А., Владимирова Т.Ю. Математическое обеспечение проблем биоакустики и психофизики слуха. 1. Дифференциальные уравнения в обосновании распределения слуховых рецепторов по частотам. // Сб.: Образование и наука: современное состояние и перспективы развития. Тамбов, 2014. С. 112-118.
8. Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Александрова Н.А., Владимирова Т.Ю. Математическое обеспечение проблем биоакустики и психофизики слуха. 2. Дифференциальные уравнения в обосновании возрастных изменений слуха. // Сб.: Образование и наука: современное состояние и перспективы развития. Тамбов, 2014. С. 118-124.
9. Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Александрова Н.А., Владимирова Т.Ю. Вычислительная биология внутреннего уха: апикальная связка мембран улиткового протока – от гипотезы к обсуждению. // Сб.: [Наука и образование](#) проблемы и перспективы развития. Тамбов, 2014. С. 117-121.
10. Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Александрова Н.А., Владимирова Т.Ю. Вычислительная биология внутреннего уха: расчет линейных параметров улиткового протока. // Сб.: [Наука и образование](#) проблемы и перспективы развития: Тамбов, 2014. С. 121-125.
11. Овчинников Е.Л., Ерёмина Н.В. Способ выявления биофизических процессов, реализующих механизм и биофизическую (волновую) модель слуха

человека. // Патент RU № 2146878 С1 РФ от 27.03.2000 по заявке № 97111773 от 08.07.1997.

12. Овчинников Е.Л. Акустическая волновая модель слуха: биофизическая концепция. Клинические приложения. // Росс. оториноларингол.– 2002. – № 3(3). – С. 71 – 76.

13. Ovchinnikov EL. Acoustic-wave hearing model, initial stage: the sound transduction in the inner ear. / E.L. Ovchinnikov, V.V. Ivanov, Yu.V. Ovchinnikova // European Science and Technology: 3rd International scientific conference, Munich, Germany, 2012, p. 524-535.

14. Ovchinnikov E.L. Acoustic-Wave Hearing Model, The Initial Stage-C: Hydroacoustics of the Inner Ear (Sound Field Formation in the Cochlea) // J. Appl. Bioinform. Comput. Biol., 2014, 3:2 , p. 1 of 6. <http://dx.doi.org/10.4172/2329-9533.1000112>.

E.L. Ovchinnikov, K.A. Adyshirin-Zade, N.A. Romashova,

T.Yu. Vladimirova, T.I. Minaeva

APPLIED BIOINFORMATICS IN RESEARCH OF HEARING:

**2. METHODS OF MATHEMATICAL ANALYSIS IN ESTABLISHMENT
OF DISTRIBUTION OF ACOUSTICAL RECEPTORS ON FREQUENCIES**

SamSMU, Samara, Russia

Purpose: Mathematical establishment to establishment of distribution of coordinates of acoustical receptors on the sound frequencies perceived by them.

Objects and Methods: Elements of research are results of classical experimental base of hearing studying. Statistical methods and methods of the mathematical analysis, theoretical approach and mathematical modeling were used.

Results: It is presented the analytical solution of distribution of acoustical receptors on the sound frequencies perceived by them.

Keywords: acoustic-wave hearing model; experimental and theoretical establishment; distribution of acoustical receptors on frequencies.