



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: 3. W. Koenig: a new
frequency scale (?) В распределении слуховых рецепторов
по воспринимаемым частотам**

Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

DOI:10.18411/sc2015-06-9-12

Реферат

Цель: Анализ экспериментов W. Koenig по слуху для установления распределения координат слуховых рецепторов по воспринимаемым ими звуковым частотам.

Объекты и методы: Исходными элементами являются результаты экспериментальной базы W. Koenig по изучению слуха. Использовались статистические методы анализа, общетеоретический подход и математическое моделирование.

Результаты: Представлено статистическое обоснование к установлению аналитического решения распределения слуховых рецепторов по воспринимаемым ими звуковым частотам в соответствии с исследованиями W.Koenig.

Ключевые слова: акустическая модель слуха; экспериментально-теоретическое обоснование; статистическая гипотеза; распределение слуховых рецепторов по частотам по W.Koenig.

ВВЕДЕНИЕ

Известная теория Н. Helmholtz [1] о зависимости поведения структур слухового анализатора от частоты звука была экспериментально доказана многими исследователями [2 – 4]. Наиболее полно она была отображена G. von Bekesy [2] как классическая экспериментальная база, ставшая весьма ценной и значимой.

Но аналитическое распределение слуховых рецепторов по частотам остается проблематичным. Исследование посвящено теоретическому обоснованию и установлению распределения координат слуховых рецепторов по воспринимаемым ими звуковым частотам. При этом использовались статистические методы анализа и математическое моделирование в MathCAD (интегрированной системе математических вычислений).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Общие замечания

Классическая экспериментальная база по исследованию слуховых феноменов впервые была создана G. von Bekesy [2]. Представленная нами в работах [5, 6], модель по G. Bekesy приобрела достаточно обширное поле практических приложений [7, 8]. Однако через пару лет были представлены исследования (рис. 1) W.Koenig (1949) [3]. Результаты по W.Koenig [3] резко контрастировали с данными G. von Bekesy (1947) [2], хотя общая тенденция распределения слуховых рецепторов по воспринимаемым ими частотам сохраняется: с ростом тестируемой частоты координаты возбуждаемых рецепторов смещаются от апекса к базальному участку улиткового протока. Значительно позднее (H.F.Schuknecht, 1974) был представлен рисунок, иллюстрирующий соотношение координат обеих моделей между собой. Графическое представление этих результатов показано на рис. 2: Это позволило W.Koenig назвать данное распределение слуховых рецепторов по воспринимаемым ими частотам "новой частотной шкалой".

2. Статистическая гипотеза к модели W.Koenig

Представляемый нами статистический анализ экспериментальных данных W. Koenig (1949) с использованием элементов теории корреляции (рис. 2) ведет к следующей статистической гипотезе с математическим выражением в виде

$$\Delta G = k \Delta F, \quad (1)$$

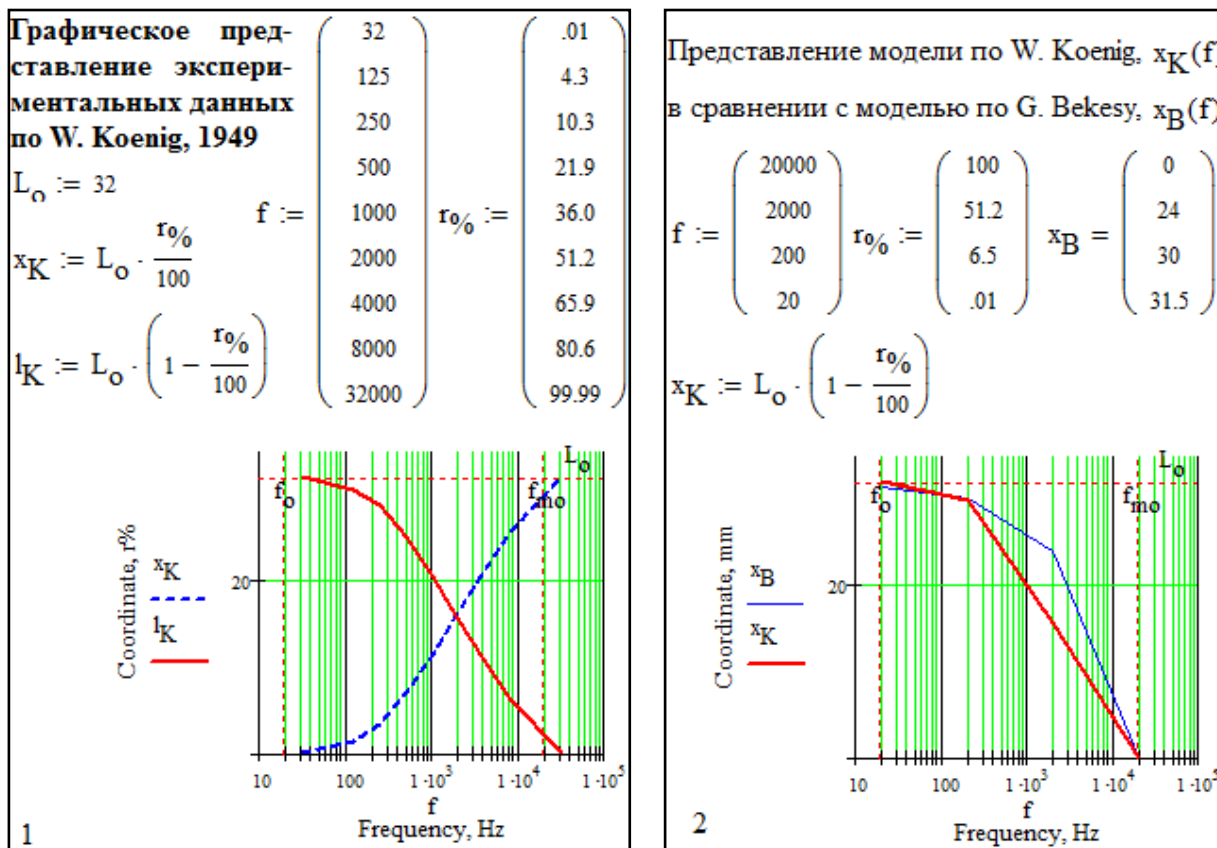


Рис.1. Графическое представление экспериментальных данных по W. Koenig (1949): ось OX выбрана в направлении к апексу улиткового протока, осевая координата x_K отсчитывается вдоль оси, координата l_K – в противоположном направлении.

Рис.2. Представление модели по W. Koenig, $x_K(f)$, в сравнении с моделью по G. Bekesy, $x_B(f)$.

где десятичный логарифм относительной частоты тестируемого сигнала f относительно максимально воспринимаемой ухом частоты $f_{mo} = 20$ кГц

дефинируется как $F = -\left(\lg\left(\frac{f_o}{f_{mo}}\right)\right)^2$ и двоичный логарифм относительной

координаты рецептора, возбуждаемого данной частотой f , относительно длины стандартной базилярной мембраны $L_0 = 32$ мм – как $D = \log_2 \left(\frac{L_0 - x_K}{L_0} \right)$.

Теоретическое обоснование гипотезы (1) выдает уравнение линейной регрессии в виде аналитического уравнения распределения слуховых рецепторов по воспринимаемым частотам с решением

$$l_K(f) = L_0 \cdot 2^{-\lg \left(\frac{f_0}{f_{mo}} \right)^2}, \quad (2)$$

Графическое представление модели W. Koenig (1949) в сравнении с моделью G. Bekesy (1947) приведено на рис. 2. Иное поведение модели W. Koenig дало право назваться "новой частотной шкалой".

ОБСУЖДЕНИЕ

Различие в распределении координат слуховых рецепторов в органе Корти по G. Bekesy (в опытах на улитках человека) и W. Koenig (в опытах на улитках семейства кошачьих) оказалось настолько различным, что дало повод высказать мысль о неопределенности (двух системах) частотных шкал [2, 3]. Классическая экспериментальная база, став заслуженно значимой, что ее итоги "широко цитируются сегодня" [9], оказалась не в состоянии разрешить открывшуюся пере ней дилемму в научно-теоретическом обосновании рассматриваемой проблемы – и "старые вопросы остаются без ответа" [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены функциональные соотношения, регулирующие распределение слуховых рецепторов по частотам. Но, несмотря на значимость результатов, данное исследование не дает единого представления о физических процессах, реализующих слуховые эффекты. 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. von Békésy G. Experiments in Hearing. NY – Toronto – London: McGraw-Hill Book Co.; 1960.

4. Schuknecht HF. Pathology of the Ear. A Commonwealth Fund Book. Harvard Univ. Press, Cambridge Massachusetts; 1974.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. Bell A. Hearing: Travelling Wave or Resonance? PLoS Biol, 2004; 2(10). 1521 – 1523.

10. 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.

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:

3. W. KOENIG: A NEW FREQUENCY SCALE (?) IN DISTRIBUTIONS OF ACOUSTICAL RECEPTORS ON THE PERCEIVED FREQUENCIES

SamSMU, Samara, Russia

Purpose: The analysis of experiments of W. Koenig in hearing for establishment of distribution of coordinates of acoustical receptors on the sound frequencies perceived by them.

Objects and Methods: Initial elements are results of the experimental W. Koenig base on studying of hearing. Statistical methods of the analysis, general-theoretical approach and mathematical modeling were used.

Results: Statistical justification to establishment of the analytical solution of distribution of acoustical receptors on the sound frequencies perceived by them according to the researches W.Koenig is presented.

Keywords: acoustic-wave hearing model; experimental and theoretical statement; statistical hypothesis; distribution of acoustical receptors on frequencies by W.Koenig.