



**COMPANY GROUP**  
**«INTELLEKT»**

**SCIENCECENTRE**

**Наука и образование в современном мире. Сборник научных трудов, выпуск 2: по материалам II международной научно-практической конференции, Москва, 31 июля 2015 г.**

**Овчинников Е.Л., Адыширин-Заде К.А., Ромашова Н.А.,**

**Владимирова Т.Ю., Минаева Т.И.**

**КОМПЬЮТЕРНАЯ БИОЛОГИЯ ВНУТРЕННЕГО УХА:**

### **1. НЕИНВАЗИВНЫЙ РАСЧЕТ ДЛИНЫ УЛИТКОВОГО ПРОТОКА**

*Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия*

*DOI:10.18411/sc2015-07-5-8*

#### **Реферат**

**Цель:** Обоснование и разработка неинвазивного способа расчета длины улиткового протока.

**Объекты:** Пациенты при аудиометрическом обследовании.

**Методы:** Расчет длины улиткового протока методами вычислительной биологии с использованием акустической модели слуха по Овчинникову.

**Результаты:** По установленному распределению координат слуховых рецепторов по частотам разработан неинвазивный способ расчета длины улиткового протока.

**Ключевые слова:** акустическая модель слуха по Овчинникову; распределение слуховых рецепторов по частотам, расчет длины улиткового протока.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Теория Н.Helmholtz [1] и классические эксперименты по слуховым феноменам [2, 3], их теоретическое обоснование с выдвиганием статистических гипотез [4, 5] и последующим анализом стали основой акустической модели слуха [6, 7]. Модель опирается на реально существующие физические процессы во внутреннем ухе: она получила серьезное научно-теоретическое обоснование, представленное как полумодель

в патенте [8], статьях [9, 10], и как полная модель – в работе [11]. Более того, она не только соответствует наблюдаемым результатам [12], но и позволяет получать новые, часто неожиданные, но прогнозируемые эффекты [11].

Высшим достижением развивающейся доказательной медицины является установление математических связей, определяющих морфофункциональные соотношения между структурами человеческого организма. К подобным выводам приводят следствия акустической модели слуха, способствующие неинвазивно производить расчет линейных параметров структур внутреннего уха.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

### **1. Акустическая модель слуха в приложении к вычислительной биологии внутреннего уха**

Для разных людей свойственен разный порог восприятия верхней частоты осязаемого звука.

Можно высказать предположение, что этот феномен обусловлен разной длиной улитковых протоков, где развиваются процессы, приводящие к слуховым эффектам.

Учет экспериментальных данных, подтвержденных биоматематическим моделированием процессов в слуховом органе, способствует установлению распределения слуховых рецепторов на базилярной мембране стандартной длины  $L_0 = 32$  мм по частотам: пространственные (осевые) координаты  $l(f)$  подчиняются соотношению (рис. 1)

$$l(f) = L_0 \cdot 2^{2 \cdot \lg \frac{f}{f_{mo}}} . \quad (1)$$

### **2. Результаты исследования и их обсуждение**

С помощью соотношений (1) можно достичь поставленной цели. Акустическая модель слуха выявляет содержательность в своих подходах, решении и выводах. В соответствии с этой моделью мембраны и другие структуры внутреннего уха, обладая всеми присущими им физиологическими функциями [7, 8], приобретают и новые специфические свойства, среди

которых отмечается снижение с возрастом верхней пороговой частоты воспринимаемого звука.

Биофизического обоснования этот феномен еще не получил должного признания, хотя он был представлен достаточно давно [9]. Расчет осевых координат возбуждаемых слуховых рецепторов улитки (2) – (3) обуславливает их отождествление с линейными параметрами структур улиткового протока. Наблюдаемое превышение верхней пороговой частоты звука вызвано, согласно акустической модели, большей длиной улиткового протока по сравнению со стандартом  $L_o$ , а снижение верхней пороговой частоты звука, напротив, сокращением длины улиткового протока.

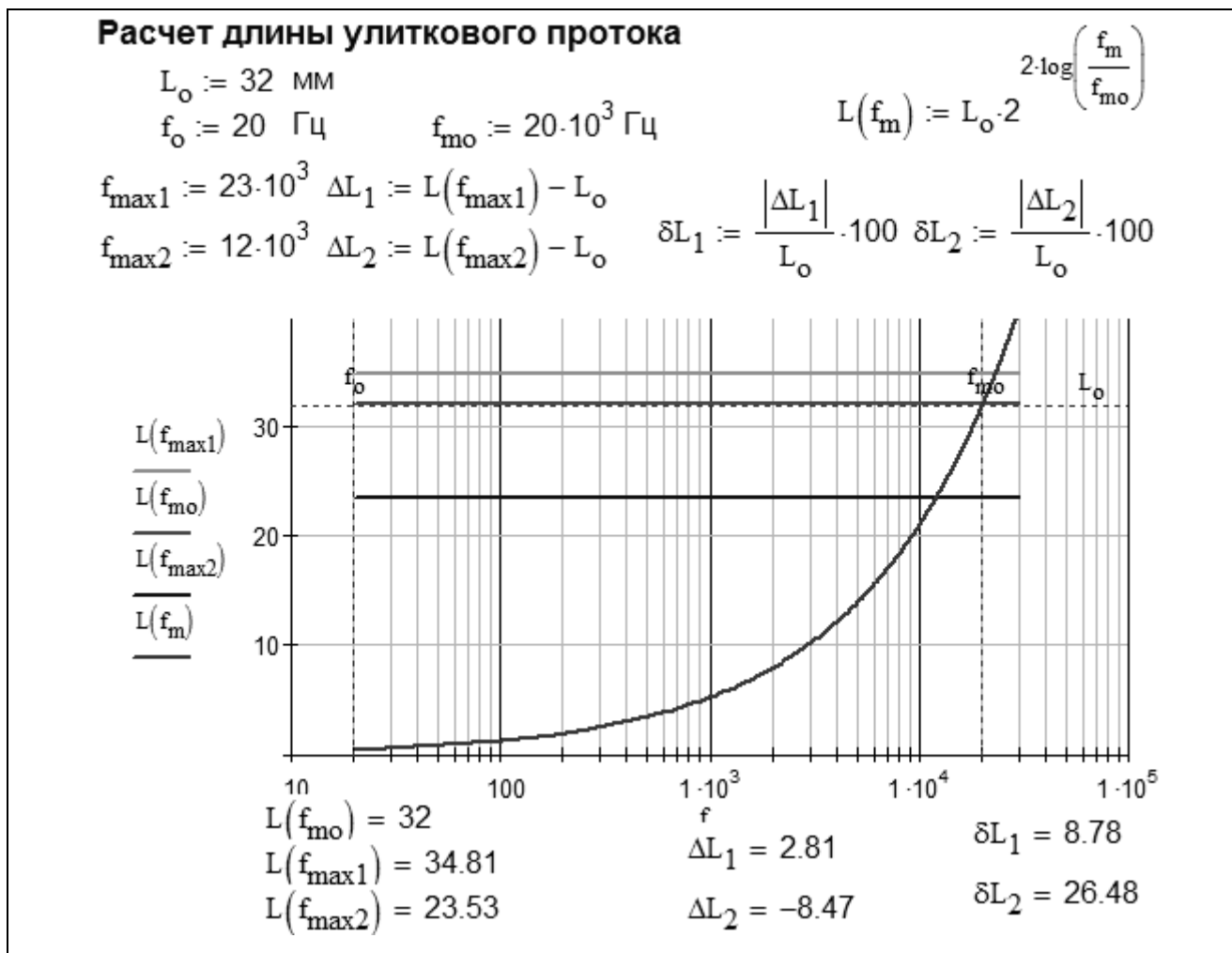


Рис. 1. Документ MathCAD: расчет длин улиткового протока для разных людей, воспринимающих разные максимальные частоты, большие (23 кГц) и меньшие (12 кГц) по сравнению со стандартной частотой  $f_{mo} = 20$  кГц.

Распределение координат слухового анализатора по частотам, определяемое акустической моделью, позволяет установить связь реальной длины  $L_r$  улиткового протока с максимальной верхней пороговой частотой воспринимаемого звука  $f_{\max}$ , в виде

$$L_r = L(f_{\max}) = L_0 \cdot 2^{21g \frac{f_{\max}}{f_{m0}}} . \quad (2)$$

Это уравнение может служить математической моделью расчёта длины реальной базилярной мембраны и улиткового протока внутреннего уха человека в целом. Расчёт возможен на основе аудиометрического определения верхней границы восприятия человеком частоты  $f_m$ .

Для частоты  $f_{\max1} = 23$  кГц имеем, что длина улиткового протока  $L(f_{\max1}) = 34.81$  мм, а для  $f_{\max2} = 12$  кГц – всего 23,53 мм, в то время, как для максимальной стандартной частоты  $f_{m0} = 20$  кГц получаем общепринятое значение  $L_0$ . При этом мы можем также рассчитать абсолютное отклонение  $\Delta L_i = L(f_{\max}) - L_0$ , и относительное отклонение этих величин от стандарта  $L_0$ , получив для частоты  $f_{m1}$  длину протока  $\Delta L_1 = 2,81$  мм, на  $\delta L_1 = 8.78\%$  превышающую стандартную, а для частоты  $f_{\max2}$  длину протока  $\Delta L_2 = 23,53$  мм, на  $\delta L_2 = 26.48\%$  короче стандартной,

## **ВЫВОДЫ**

Однозначность уравнения (2) раскрывает особенности работы слухового анализатора, объясняя природу восприятия звуковых сигналов разных пороговых частот различием в длине структур улиткового протока. Мы показали, что кроме теоретического значения, акустическая модель слуха имеет практические приложения. Этим существенно повышается информативность и самой модели, и основанных на ней количественных методов расчета клинических показателей для внедрения медицинскую практику.

## **Литература**

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

2. von Békésy G. Experiments in Hearing. NY – Toronto – London: McGraw-Hill Book Co.; 1960.

3. Koenig W. A new frequency scale for acoustic measurements. Bell Laboratory Record, 1949.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

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

10. Ovchinnikov E.L. 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.

11. 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>.

12. Альтман А.Я., Таварткиладзе Г.А. Руководство по аудиологии // М.: ДМК Пресс, 2006.

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

**Vladimirova T.Yu., Minayeva T.I.**

*SamSMU, Samara, Russia*

## **COMPUTER BIOLOGY OF THE INTERNAL EAR:**

### **1. NONINVASIVE CALCULATION OF COCHLEAR DUCT LENGTH**

***Purpose:*** Substantiation and development of a noninvasive way of calculation of cochlear duct length.

***Objects:*** Patients at audiometric inspection.

***Methods:*** Calculation of cochlear duct length by methods of computing biology with use of acoustic-wave hearing model by Ovchinnikov.

***Results:*** On the established distribution of acoustical receptors coordinates on frequencies the noninvasive way of calculation of cochlear duct length is developed.

***Keywords:*** acoustic-wave hearing model by Ovchinnikov; acoustical receptors distribution on frequencies, calculation of cochlear duct length.