



**COMPANY GROUP**  
**«INTELLEKT»**

**SCIENCECENTRE**

**Наука и образование в современном мире. Сборник научных трудов, выпуск 3: по материалам III международной научно-практической конференции, Москва, 31 августа 2015 г.**

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

**КОМПЬЮТЕРНАЯ БИОЛОГИЯ ВНУТРЕННЕГО УХА:  
5. ЭФФЕКТИВНАЯ ДЛИНА УЛИТКОВОГО ПРОТОКА  
И ЕГО СТРУКТУР**

*Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия*

*DOI:10.18411/sc2015-08-4-7*

**Реферат**

**Цель:** Определение (дефиниция и расчет) эффективной длины улиткового протока и его структур.

**Объекты:** Пациенты при аудиометрическом обследовании.

**Методы:** Аудиометрическое обследование пациентов, биоматематическое (компьютерное) моделирование, численные методы математического анализа.

**Результаты:** По установленному распределению координат слуховых рецепторов и аудиометрически установленным верхней и нижней пороговым частотам воспринимаемого звука разработан неинвазивный способ расчета эффективной длины улиткового протока и его структур.

**Ключевые слова:** акустическая модель слуха; распределение слуховых рецепторов по частотам, линейные параметры структур улиткового протока, эффективная длина улиткового протока и его структур.

**ВВЕДЕНИЕ**

Улитка уха человека является чрезвычайно сложным органом, предназначенным для преобразования энергии звуковых волн от внешних

источников в энергию слуховых ощущений. Теория слуха по Н.Helmholtz [1], классические эксперименты по слуховым явлениям [2, 3], их теоретическое обоснование с выдвижением экспериментально-статистических гипотез [4, 5] и последующим анализом стали основой акустической модели слуха [6, 7].

Модель опирается на реальные биофизические процессы во внутреннем ухе, она получила солидное научное 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 прогнозировать многие слуховые эффекты [13]. Одной из таких особенностей является наличие в улитковом протоке апикальной связки мембран, для которой были установлены линейные ее размеры (ее ширина).

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

### **1. Дефиниция понятия функциональной длины улиткового протока**

Главной ее структурой улитки является слепо заканчивающийся проток, работающий как частотно-амплитудный преобразователь звуковой энергии.

Он ограничен от вестибулярной лестницы мембраной окна преддверия, а от барабанной лестницы – базилярной мембраной. Внутри протока находится система текториальной и сетчатой мембран, разделяющая его содержимое на две части: эндо- и кортилимфатический протоки. Внутрилабиринтные жидкости имеют разный химический состав, поэтому в области геликотремы должна существовать некоторая структура, не позволяющая жидкостям смешиваться. Ее наличие пока экспериментально не установлено, хотя теоретические представления о ней уже существуют.

На базилярной мембране находятся рецепторы – внутренние и внешние волосковые клетки, конкретная функциональная роль которых также еще не разграничена. Координатное распределение рецепторов вдоль длинника улиткового протока теоретически нами ранее было определено. При этом оказалось, что: (1) невосприимчивость уха к звукам ВЧ устанавливается длиной улиткового протока; (2) невосприимчивость к звукам НЧ – наличием апикальной связки мембран протока, которой поглощена часть приапикальных

рецепторов, из-за чего улитковый проток становится неработающим участком по ширине апикальной связки мембран протока. Функциональной длиной улиткового протока и его структур остается та его часть, на которой располагаются рецепторы, способные к преобразованию звуковой энергии в сигналы, приводящие к слуховым ощущениям.

## **2. Возможности акустической модели слуха в вычислительной биологии при расчете функциональной длины улиткового протока**

Напомним, что распределение координат слуховых рецепторов по частотам, определяемое акустической моделью, позволяет установить связь реальной длины  $L_r$  улиткового протока, на котором расположены рецепторы, воспринимающие максимальную (верхнюю пороговую) частоту звука  $f_{\max}$ , в сравнении с его стандартной  $L_o = 32$  мм, воспринимающей частоту  $f_{mo} = 20$  кГц,

$$L_r = L(f_{\max}) = L_o \cdot 2^{21g \frac{f_{\max}}{f_{mo}}} . \quad (1)$$

Расчёт возможен на основе аудиометрического определения верхней границы восприятия человеком частоты  $f_m$  (рис. 1).

Напомним также, что ширина апикальной связки мембран улиткового протока, которой поглощены приапикальные рецепторы, в результате чего эта часть протока становится неработающей, при нижней пороговой частоте  $f_{\min}$ , может быть установлена соотношением

$$L_{ao} = L(f_{\min}) = L_o \cdot 2^{21g \frac{f_{\min}}{f_{mo}}} . \quad (2)$$

которое служит математической моделью расчета ширины апикальной связки мембран. При восприятии испытуемым меньшей, по сравнению со стандартной, частоты звука можно говорить об узости апикальной связки мембран, и наоборот.

Тогда под функциональной (эффективной, рабочей) длиной улиткового протока мы будем понимать величину, равную разности длины улиткового протока в целом и его апикальной связки, т.е.

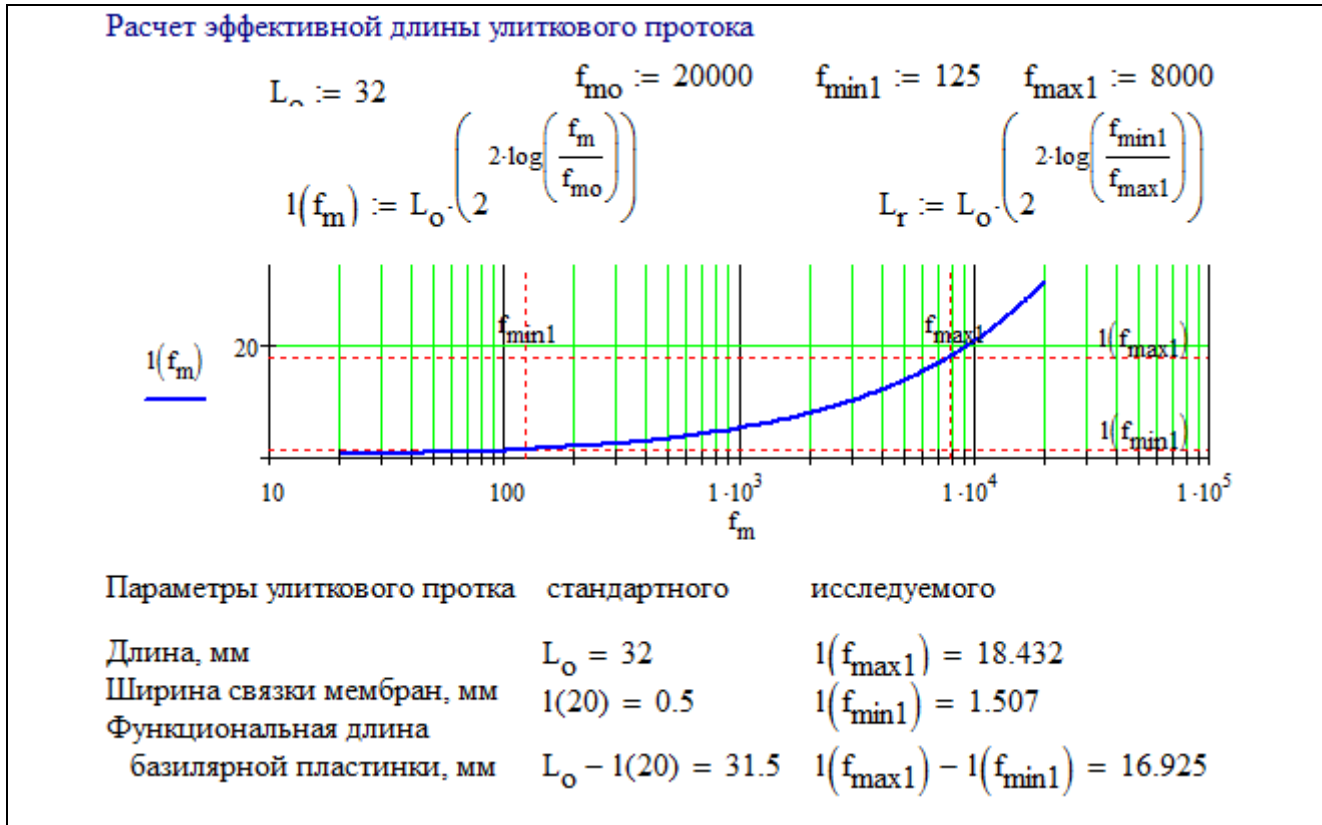


Рис. 1. Фрагмент документа MathCAD: расчет параметров исследуемого улиткового протока в сравнении со стандартным.

$$L_d = L_r - L_{ao} = L(f_{minax}) - L(f_{min}) =$$

$$= L_o \cdot \left( 2^{-2 \lg \frac{f_{max}}{f_{mo}}} - 2^{-2 \lg \frac{f_{min}}{f_{mo}}} \right) \quad (3)$$

Сокращение длины улиткового протока по причине возрастной эволюции

приводит к уменьшению его функциональной длины и периферического отдела слухового анализатора в целом, к сокращению восприятия человеком звукового диапазона в его ВЧ и НЧ области.

## **ВЫВОДЫ**

Мы показали, что однозначность уравнений (1) – (3) раскрывает особенности работы слухового анализатора, объясняя природу восприятия звуковых сигналов разных пороговых частот различием в длине структур улиткового протока. 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 / W. Koenig // 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., Ерёмкина 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. Акустическая 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 . Руководство по аудиологии / А.Я. Альтман, Г.А. Таварткиладзе // М.: ДМК Пресс, 2006.

13. Физиология человека. Т. 2. / Ред. Р.Ф.Шмидт, Г.Тевс // М: Мир, 1985.

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

**Vladimirova T.Y., Minaeva T.I.**

**COMPUTER BIOLOGY OF THE INTERNAL EAR:**

**5. THE EFFECTIVE LENGTH OF COCHLEAR DUCT AND ITS STRUCTURE**

*SamSMU, Samara, Russia*

**Abstract**

**Objective:** To determine (the definition and method of calculation) the effective length of the cochlear duct and its structures.

**Objects:** Patients with the audiometric examination.

**Methods:** audiometric examination of patients, mathematical (computer) modeling, numerical methods of mathematical analysis.

**Results:** According to the established distribution of origin of auditory receptors and audiometric set the upper and lower cut-off frequencies of the perceived sound developed a non-invasive method of calculating the effective length of the cochlear duct and its structures.

**Keywords:** acoustic-wave hearing model; distribution of auditory receptors in frequency, linear parameters of the cochlear duct structures, the effective length of the cochlear duct and its structures.'