



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:

2. АПИКАЛЬНАЯ СВЯЗКА МЕМБРАН УЛИТКОВОГО ПРОТОКА,

НЕИНВАЗИВНЫЙ РАСЧЕТ ОСЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ

Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

DOI:10.18411/sc2015-07-8-11

Реферат

Цель: Обоснование существования нижней предельной частотной границы воспринимаемого ухом звука наличием апикальной связки мембран улиткового протока, разработка неинвазивного способа расчета линейных параметров структур улиткового протока.

Объекты: Пациенты при аудиометрическом обследовании.

Методы: Биоматематическое (компьютерное) моделирование слуховых феноменов, численные методы математического анализа.

Результаты: По установленному распределению координат слуховых рецепторов по частотам обосновано наличие нижней предельной частотной границы воспринимаемого ухом звука, разработан неинвазивный способ расчета линейных параметров структур улиткового протока.

Ключевые слова: акустическая модель слуха; распределение слуховых рецепторов по частотам, линейные параметры структур улиткового протока.

ВВЕДЕНИЕ

Для слуха разных людей свойствен различный порог восприятия звука как ВЧ, так и НЧ диапазона [1]. Оба эффекта легко могут получить теоретическое обоснование с выдвижением экспериментально-статистических гипотез [2, 3] и построением акустической модели слуха [4, 5]. Модель получила научно-теоретическое обоснование, представленное как полумодель в патенте [6], статьях [7, 8], и как полная модель – в работе [9]. Однако решение задачи с НЧ частотами оказалось совсем не простым: низкие частоты исследованиям почти не подвергались, хотя эффект повышения нижней пороговой границы звука был известен и неоднократно упоминался в литературе [1]. Существование НЧ порога позволило нам выдвинуть гипотезу о наличии такого участка улиткового протока, на котором звуковые волны с частотами, меньшими нижних пороговых, не возбуждали бы слуховые рецепторы, или на котором функционирующие рецепторы попросту отсутствуют. Такой участок был назван апикальной связкой мембран улиткового протока [10]. Его наличие как структурного элемента необходимо и потому, что он разделяет разнородные внутрилабиринтные жидкости протока.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Акустическая модель слуха в вычислительной биологии

Слуховые феномены, суть которых объясняется классической экспериментальной базой [11, 12], их научно-теоретическая трактовка и последующий анализ стали основой акустической модели слуха [9]. Она опирается на реально существующие физические процессы во внутреннем ухе и соответствует наблюдаемым эффектам. Модель позволяет установить математические связи, определяющие морфофункциональные соотношения между структурами внутреннего уха как закономерности, способствующие неинвазивно производить расчет их линейных (осевых) параметров.

2. Апикальная связка мембран в проблеме восприятия НЧ звуков

Акустическая модель слуха [9] достаточно полно описывает биофизические механизмы и особенности проведения звуковых волн в улитке. Во внутреннее ухо проникают звуки всевозможных частот, существующие в

окружающем пространстве, но на рецепторы воздействуют лишь те, которые попадают в диапазон частот $\Delta f = f_0 \div f_{mo} = 20 \div 20 \cdot 10^3$ Гц. Определённость распределения по осевым координатам $l(f)$ слуховых рецепторов на базилярной мембране означает, что именно они производят первичный частотный анализ звуковых волн, которые отвечают воспринимаемой ими частоте звука. Отсутствие восприятия звуков с частотами, меньшими f_0 , означает, что в приапикальной части слуховые рецепторы отсутствуют. Эти представления приводят к констатации соединения всех мембран улиткового протока (преддверной, покровной, сетчатой и базилярной) в его апексе в виде новой структуры – апикальной связки мембран. Она необходима и в связи с физиологической особенностью протока: для изоляции внутрилабиринтных жидкости друг от друга [13].

3. Расчет осевых параметров (ширины) апикальной связки мембран

Акустоволновая модель слуха [9] дает возможность произвести расчет осевых линейных параметров апикальной связки мембран улиткового протока – ее ширины (рис. 1). Распределение координат $l(f)$ возбуждаемых слуховых рецепторов на базилярной мембране стандартной длины $L_0 = 32$ мм сигналом частоты f

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

обуславливает их отождествление с осевыми параметрами связки мембран

$$L_a = L(f_{min}) = L_0 \cdot 2^{2 \lg \frac{f_{min}}{f_{mo}}}. \quad (2)$$

Наблюдаемое превышение нижней пороговой частоты звука f_{min} в сравнении со стандартной f_0 вызвано уширением апикальной связки мембран. Распределение координат слухового анализатора по частотам, определяемое акустоволновой моделью, позволяет установить связь реальной ширины апикальной связки мембран L_a улиткового протока с минимальной нижней пороговой частотой

воспринимаемого звука f_{\min} . Расчёт возможен на основе аудиометрического определения нижней границы восприятия человеком частоты f_{\min} .

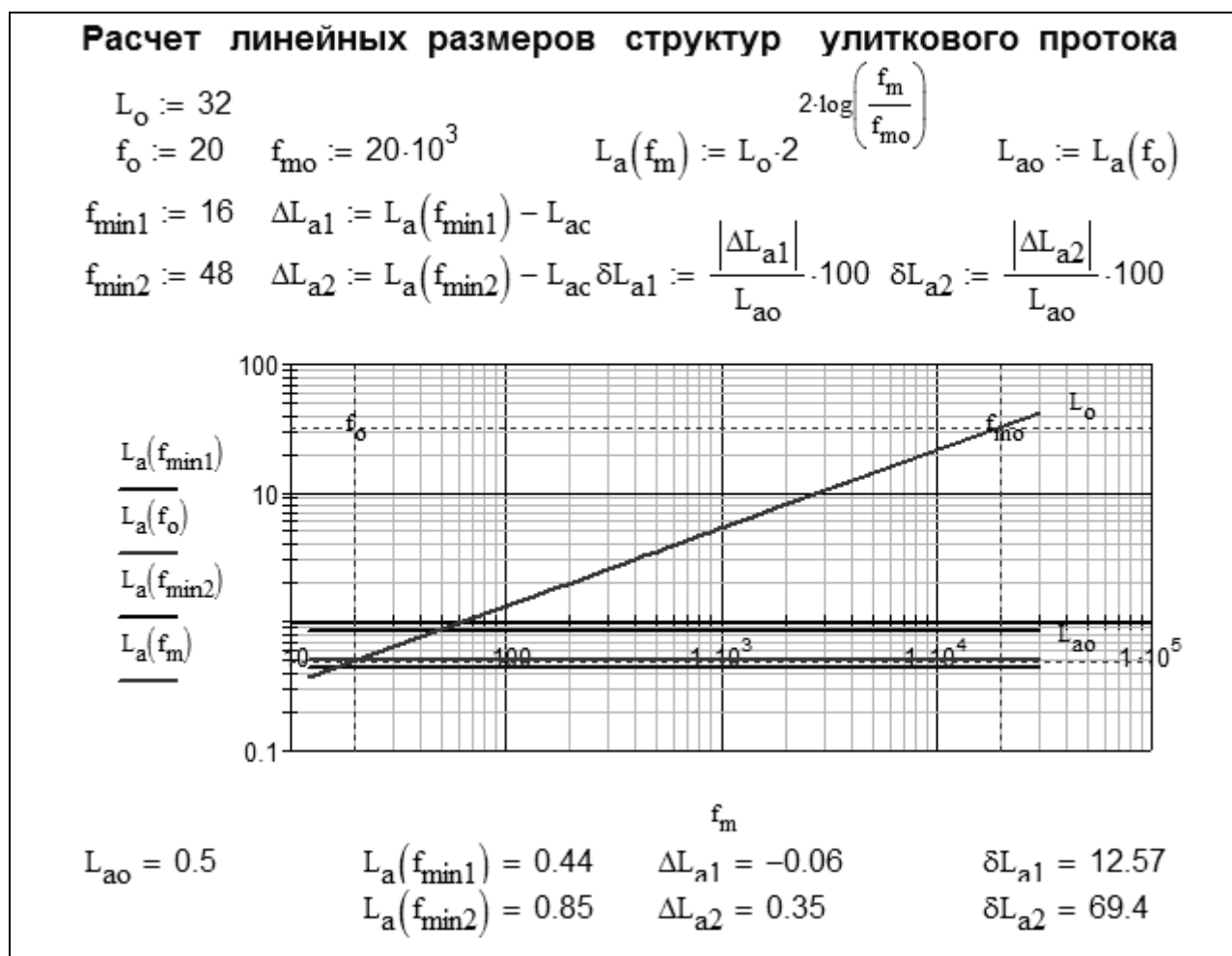


Рис. 1: Документ MathCAD: расчет ширины апикальной связки $L_a(f)$ мембран протока: горизонтальная пунктирная линия соответствует стандартной ширине $L_{ao} = 0.5$ мм, воспринимающей стандартную нижнюю пороговую частоту $f_o = 20$ Гц.

Установим физиологический смысл величины L_a . Для $f_{\min 1} = 16$ Гц имеем, что ширина апикальной связки улиткового протока составляет $L(f_{\min 1}) = 0.44$ мм, а для $f_{\min 2} = 48$ Гц значение $L(f_{\min 2}) = 0.85$ мм, в то время, как для минимально воспринимаемой стандартной частоты $f_o = 20$ Гц имеем значение $L_{ao} = 0.50$ мм.

При этом мы можем также рассчитать абсолютное $\Delta L_{ai} = L(f_{\min i}) - L_{ao}$ и относительное отклонение этих величин от стандарта L_{ao} , для частоты $f_{\min 1}$

получив ширину апикальной связки $\Delta L_{a1} = 0,06$ мм, на $\delta L_{a1} = 12.57\%$ уже стандартной, а для частоты $f_{\max 2}$, напротив, на $\Delta L_{a2} = 23,53$ мм и на $\delta L_{a2} = 69.40\%$ шире стандартной,

Сокращение длины улиткового протока по причине возрастной эволюции приводит к уменьшению функциональной длины улиткового протока и периферического отдела слухового анализатора в целом, к сокращению восприятия человеком звукового диапазона в его ВЧ и НЧ области (рис. 3).

ВЫВОДЫ

Расчет биофизических параметров структур улиткового протока приобретает не только теоретическое, но и большое практическое значение.

Знание биологических параметров и функциональных свойств структур улиткового протока может служить важным физиологическим и, возможно, одним из диагностических критериев работы слухового анализатора.

Литература

1. Физиология сенсорных систем / Ред. А.С.Батуев // М.: Мед., 1976.
2. 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: совр. состояние и перспективы развития. Тамбов, 2014. С. 112-118.
3. 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: совр. состояние и перспективы развития. Тамбов, 2014. С. 118-124.
4. 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.

5. 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.

6. 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.

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

8. 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.

9. 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>.

10. 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.

11. von Békésy G. The variations of phase along the basilar membrane with sinusoidal vibrations. // J. Acoust. Soc Am. 1947, 19:452–460.

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

13. Lawrence M. Inner ear physiology. Otolaryngology. Eds. MN Paparella, DA Shumrick, Philadelphia: Saunders Basic Science and Related Disciplines, 1973; 1. 275 – 298.

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

Vladimirova T.Yu., Minayeva T.I.

SamSMU, Samara

COMPUTER BIOLOGY OF THE INTERNAL EAR:

**2. APICAL LIGAMENT OF COCHLEAR DUCT MEMBRANES,
NONINVASIVE CALCULATION OF AXIAL PARAMETERS**

Purpose: Substantiation of existence of the lower limit frequency bound of the sound perceived by an ear existence of an apical ligament of cochlear duct membranes, development of a noninvasive way of calculation of linear parameters of cochlear duct structures.

Objects: Patients at audiometric inspection.

Methods: Biomathematical (computer) modeling of acoustical phenomena, numerical methods of the mathematical analysis.

Results: On the established distribution of acoustical receptors coordinates on frequencies it is proved existence of the lower limit frequency bound of the sound perceived by an ear; the noninvasive way of calculation of linear parameters of structures of cochlea duct is developed.

Keywords: acoustic-wave hearing model by Ovchinnikov; acoustical receptors distribution on frequencies, linear parameters of cochlear duct structures.