



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:

**3. АПИКАЛЬНАЯ СВЯЗКА МЕМБРАН УЛИТКОВОГО ПРОТОКА,
РАСЧЕТ ОСЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ (АЛЬТЕРНАТИВНОЕ РЕШЕНИЕ)**

Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

DOI:10.18411/sc2015-07-11-14

Реферат

Цель: Обоснование и разработка альтернативного неинвазивного способа расчета осевых параметров (ширины) апикальной связки мембран 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 и аудиометрически установленной нижней пороговой частоте воспринимаемого звука разработан неинвазивный способ расчета ширины апикальной связки мембран улиткового протока.

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

ВВЕДЕНИЕ

Теория Н. Helmholtz [1], классические эксперименты по слуховым эффектам [2, 3], их теоретическое обоснование с выдвиганием

экспериментально-статистических гипотез [4, 5] и последующим анализом [6, 7] стали основой акустической модели слуха. Модель опирается на реально существующие физические процессы во внутреннем ухе: она получила серьезное 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 получать новые, часто неожиданные, но прогнозируемые эффекты [13]. Одной из таких особенностей является наличие в улитковом протоке так называемой апикальной связки мембран, для которой были установлены линейные ее размеры (ее ширина).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Возможности акустической модели слуха в компьютерной биологии

Напомним, что для слуха разных людей свойствен неодинаковый порог восприятия как верхних, так и нижних частот звука.

Причины таких отклонений в восприятии звука могут быть объяснены акустической моделью слуха.

Для верхних частот объяснение устанавливается связью реальной длины L_r протока с верхней пороговой частотой воспринимаемого звука f_{\max} ,

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

для нижних – связью реальной ширины L_a апикальной связки мембран протока с нижней пороговой частотой f_{\min} воспринимаемого звука

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

Однако решение (2) можно получить и альтернативно: рассчитав ширину стандартной связки мембран протока по (2)

$$L_{ao} = L(f_o) = L_o \cdot 2^{21g \frac{f_o}{f_{mo}}}, \quad (3)$$

воспользоваться соотношением, аналогичным (1) в виде

$$L_a = L(f_{\min}) = L_{ao} \cdot 2^{21g \frac{f_{\min}}{f_o}}, \quad (4)$$

Расчет осевых линейных параметров структур улиткового протока

1. Расчет ширины стандартной связи

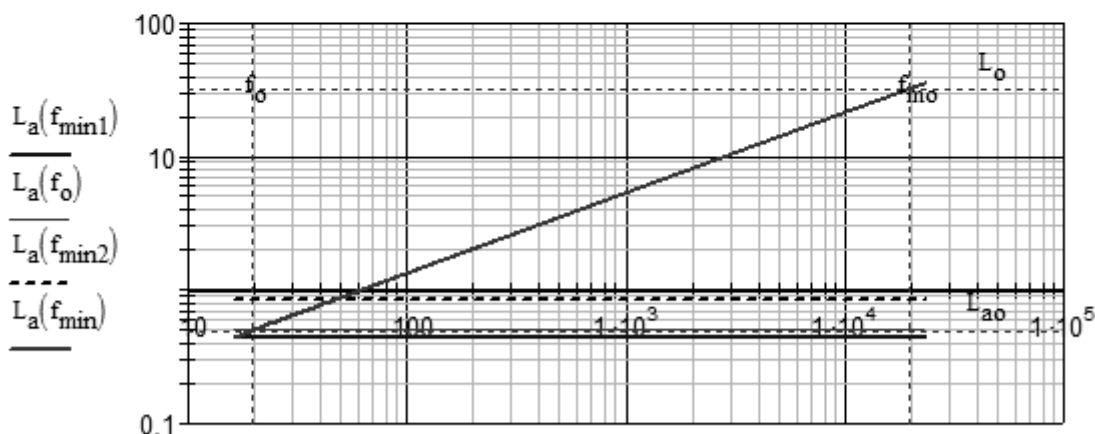
$$f_o := 20 \quad f_{mo} := 20 \cdot 10^3$$

$$L_{ao} := \text{root} \left(L_{ao} - L_o \cdot 2^{2 \cdot \log \left(\frac{f_o}{f_{mo}} \right)}, L_{ao} \right) \quad \begin{matrix} L_o := 32 \\ L_{ao} = 0.5 \end{matrix}$$

2. Расчет ширины реальной связи и ее отклонений от стандарта

$$L_a(f_{\min}) := L_{ao} \cdot 2^{2 \cdot \log \left(\frac{f_{\min}}{f_o} \right)} \quad \begin{matrix} f_{\min 1} := 16 \\ f_{\min 2} := 48 \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} \Delta L_{a1} &:= L_a(f_{\min 1}) - L_{ao} & \delta L_{a1} &:= \frac{|\Delta L_{a1}|}{L_{ao}} \cdot 100 & \delta L_{a2} &:= \frac{|\Delta L_{a2}|}{L_{ao}} \cdot 100 \\ \Delta L_{a2} &:= L_a(f_{\min 2}) - L_{ao} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} L_a(f_{\min 1}) &= 0.44 & \Delta L_{a1} &= -0.06 & \delta L_{a1} &= 12.57 \\ L_a(f_{\min 2}) &= 0.85 & \Delta L_{a2} &= 0.35 & \delta L_{a2} &= 69.4 \end{aligned}$$

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

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

Как и следовало ожидать, для $f_{\text{mmi1}} = 16$ Гц имеем ширину апикальной связки мембран протока $L_a(f_{\text{mmi1}}) = 0.44$ мм, а для $f_{\text{mmi2}} = 48$ Гц значение $L_a(f_{\text{mmi2}}) = 0.85$ мм, в то время как для стандартной минимально воспринимаемой частоты $f_0 = 20$ Гц имеем $L_{a0} = 0.50$ мм. При этом мы можем также рассчитать абсолютное ΔL_{a1} и относительное отклонение этих величин от стандарта L_{a0} : для частоты f_{min1} получив $\Delta L_{a1} = 0,06$ мм, на $\delta L_{a1} = 12.57\%$ уже стандартной, а для частоты f_{max2} , напротив, на $\Delta L_{a2} = 23,53$ мм и на $\delta L_{a2} = 69.40\%$ шире стандартной,

Однозначность уравнений (1) – (4) раскрывает особенности работы слухового анализатора, объясняя природу восприятия звуковых сигналов разных пороговых частот различием в линейных параметрах структур улиткового протока.

ВЫВОДЫ

Мы показали, что кроме теоретического значения, акустоволновая 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 . 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., Adyshirin-Zade K.A., Romashova N.A.,

Vladimirova T.Yu., Minayeva T.I.

COMPUTER BIOLOGY OF THE INTERNAL EAR:

**3. APICAL LIGAMENT OF COCHLEAR DUCT MEMBRANES,
CALCULATION OF AXIAL PARAMETERS (ALTERNATIVE DECISION)**

SamSMU, Samara

Purpose: Substantiation and development of an alternative noninvasive way of calculation of axial parameters (width) of an apical ligament of apical ligament.

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 and audiometric established of lower threshold frequency perceived sound the noninvasive way of calculation of width of an apical ligament is developed.

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