

Офтальмология и оториноларингология

ID: 2012-11-3883-A-1712

Оригинальная статья

Мареев Г.О.

Исследование подвижности барабанной перепонки в модельном опыте

ГБОУ ВПО Саратовский ГМУ им В.И. Разумовского Минздрава России

Mareev G.O.

Investigation of tympanic membrane vibration through modelling experiment

Saratov State Medical University

Резюме

Описывается модельный опыт по исследованию подвижности структур среднего уха лазерным автодинным методом. Приводятся результаты собственных исследований подвижности барабанной перепонки на препаратах при помощи лазерного автодинного измерителя и их значение в дифференциальной диагностике заболеваний уха. *Материалы:* исследование проведено на 20 свежих препаратах височных костей. *Результаты:* в модельном опыте на препаратах височных костей получены амплитудно-частотные характеристики колебаний структур среднего уха и барабанной перепонки. *Заключение:* возможна оценка амплитуды вибраций барабанной перепонки и структур среднего уха с применением лазерного автодинного измерителя наносмещений что открывает перспективы разработки нового объективного метода оценки слуховой функции.

Ключевые слова: лазерный автодин, барабанная перепонка, среднее ухо, височная кость

Abstract

Article described investigation of nanovibrations middle ear structures assessed in modeling experiment by usage of modern nanotechnology methods. Experiments were made on fresh temporal bone specimens. Presented the results of our own research of the eardrum movements measured by the laser autodyne system. *Materials:* A study included experiments on 20 human temporal bones. *Results:* obtained frequency response vibration patterns of the middle ear and tympanic membrane on temporal bone specimens. *Conclusion:* Tympanic membrane and middle ear structures vibrations can be measured by laser autodyne system, which leads to development of the new objective hearing test.

Key words: laser autodyne, temporal bone, middle ear

Введение

Известно, что амплитуда колебаний барабанной перепонки при воздействии на нее звуковой волны весьма мала и лежит в нанометровом диапазоне. Измерение амплитуды смещения барабанной перепонки – чрезвычайно важный вопрос теоретической и практической медицины, который не решен и в настоящее время. Предлагавшиеся ранее способы неточны, либо весьма громоздки и не могут быть в дальнейшем развиты для использования *in vivo* [5]. В настоящее время в связи с созданием лазерных автодинов на квантоворазмерных структурах появилась возможность проводить измерения микро- и нановибраций биологической ткани *in vivo*. Автодинный эффект основан на изменении режима работы лазерного диода при возвращении части излучения обратно в его резонатор, данная система обладает высокой чувствительностью к отраженному сигналу [3]. Для анализа автодинного сигнала в предположении гармоничности колебаний барабанной перепонки использовалась известная процедура разложения интерференционного сигнала в ряд по функциям Бесселя и в ряд Фурье. Амплитуду колебаний барабанной перепонки определяют по спектру автодинного сигнала. В ряде работ [1, 3] установлена зависимость амплитуды гармоники, имеющей максимальное значение в спектре автодинного сигнала, от амплитуды колебаний барабанной перепонки.

Цель: Определение вибрационных характеристик структур среднего уха при помощи лазерного автодинного измерителя наносмещений на препаратах височных костей.

Материал и методы

Экспериментальное определение амплитуд колебаний барабанной перепонки проводилось с использованием оригинальной автодинной измерительной системы [1], схема которой приведена на рис. 1. В состав измерительной автодинной системы входит лазерный диод RLD-650 (3) с длиной волны излучения 652 нм. На препарат височной кости (13), укрепленный на штативе (2) направляют когерентное излучение от лазерного диода (3), питаемого от источника тока (4). Отраженное от барабанной перепонки лазерное излучение регистрируется с помощью фотоприемника (5). Сигнал с фотоприемника поступает через широкополосный усилитель (6), содержащий фильтр переменного сигнала, на вход аналого-цифрового преобразователя (7) компьютера (8). Для возбуждения колебаний барабанной перепонки используется излучатель звуковых волн (10) (исследование проводилось в свободном звуковом поле), работающий от генератора звуковых колебаний (9). При исследовании снималась амплитудно-частотная вибрационная характеристика (АЧВХ) барабанной перепонки при уровне звукового давления (УЗД) у барабанной перепонки 65 и 85 дБ, что контролировалось измерителем УЗД («Brüel & Kjaer», Model 2218) с акустическим зондом (12). Кроме этого исследовались величины смещения барабанной перепонки при нарастании уровня звукового давления (УЗД) в диапазоне 45-85 дБ на частоте 1000 Гц.

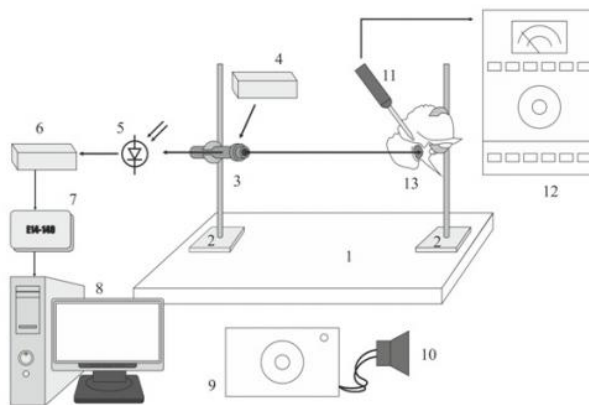


Рис.1. Схема модельного опыта с измерением вибрационных характеристик интактного среднего уха человека на препарате височной кости лазерным автодинным методом:

1 – оптический стол; 2 – штатив; 3 – лазерный диод на квантово размерных структурах; 4 – источник тока лазерного диода; 5 – фотоприемник; 6 – широкополосный усилитель, содержащий фильтр переменного сигнала; 7 – аналого-цифровой преобразователь; 8 – компьютер; 9 – генератор звуковых колебаний; 10 – излучатель звуковых волн; 11 – акустический зонд; 12 – измеритель УЗД с блоком фильтров; 13 – препарат височной кости с удаленной хрящевой частью наружного слухового прохода.

При исследовании использовались 20 свежих препаратов височных костей человека, взятые через 8-12 часов с момента смерти. Возраст лиц 40-50 лет, смерть наступила в результате сердечно-сосудистых заболеваний, перед забором материала проводилась отоскопия для установления факта целостности структур среднего уха). Забор материала соответствовал требованиям ФЗ РФ от 22.12.92 №4180-1 ст.10. Для исследования тщательно удалялась хрящевая часть наружного слухового прохода, долотом и молотком для удобства несколько расширялся костный отдел наружного слухового прохода. Подвижность барабанной перепонки исследовалась в области $umbo$.

Результаты

Средние результаты измерения нарастания амплитуды колебаний барабанной перепонки приведены на рис. 2. Зависимость нарастания амплитуды колебаний барабанной перепонки от уровня звукового давления носит логарифмический характер.

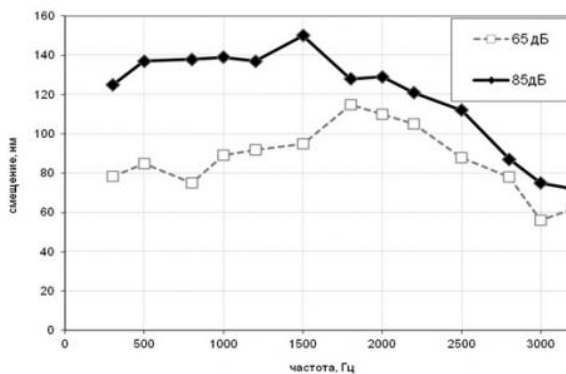


Рис.2. АЧХ барабанной перепонки интактного препарата височной кости человека при звуковой стимуляции на частотах 300 – 3200 Гц при создании УЗД 65дБ и 85 дБ.

АЧХ барабанной перепонки препарата височной кости человека снималась при УЗД 65 и 85 дБ в диапазоне частот от 500 до 3500 Гц, средние результаты этого исследования приведены графически на рис. 3 (75 дБ – кривая 1, 85 дБ – кривая 2). Для УЗД 75 дБ наибольшие величины колебания барабанной перепонки в данном случае составили 100-120 нм на частотах 1500-2500 Гц. Очевидно, что это собственные резонансные частоты колебательной системы среднего уха. Полученные нами данные характеризуют систему колебаний среднего уха на препарате, колебательная система уха живого человека несколько отличается, за счет действия мышц среднего уха, а также иной прижизненной упругости связочного аппарата среднего уха. В сравнении с интактным ухом живого человека [1] собственные резонансные частоты системы, измеренные нами на препарате более выражены, однако общая тенденция наличия резонансных пиков весьма характерна. Так, колебательная система интактного среднего уха имеет собственный резонанс на частотах 1800-2200 Гц – в речевом диапазоне частот, амплитуда колебаний на резонансных частотах выше на 20-30 дБ, чем на низких частотах (ниже 1000 Гц). Также амплитуда колебаний барабанной

перепонки имеет тенденцию к уменьшению на частотах выше речевого диапазона - свыше 2500 Гц и становится ниже на 10-20 дБ в среднем, чем на низких частотах. При увеличении УЗД на 10 дБ – картина несколько меняется – увеличивается амплитуда колебаний на низких частотах до 140-160 нм, при этом амплитуда колебаний на средних частотах остается практически неизменной. Очевидно имеет место эффект бифуркации удвоения периода колебаний барабанной перепонки [2], зафиксированный нами в большей части экспериментов при УЗД 85 дБ и выше на низких частотах.

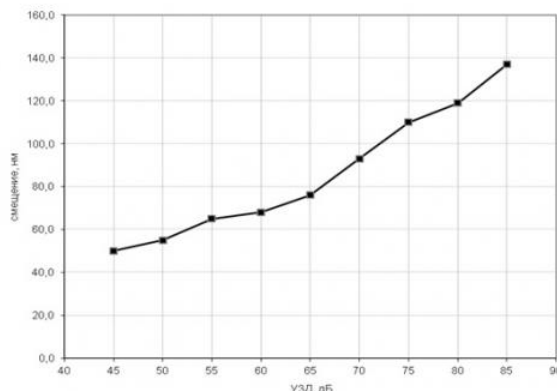


Рис.3. График зависимости нарастания амплитуды смещения барабанной перепонки на частоте 1000 Гц при росте УЗД в наружном слуховом проходе от 45 до 85 дБ.

Таблица 1. Средние амплитуды смещения $M \pm m$ области *umbo* барабанной перепонки свежего препарата височной кости человека, измеренные лазерным автодинным методом.

Частота Гц	УЗД 85дБ		УЗД 65дБ		Частота Гц	УЗД 85дБ		УЗД 65дБ	
	M	$\pm m$	M	$\pm m$		M	$\pm m$	M	$\pm m$
300	125	11,3	78,3	10,3	2000	129	12,4	110	12,4
500	137	12,5	85	12,5	2200	121	22,4	102	14,4
800	138	22,4	75	16,6	2500	112	18,5	88	14,8
1000	139	12,4	89	12,3	2800	87	18,4	78	9,4
1200	137	8,6	76	12,5	3000	75	8,3	56	8,7
1500	150	12,5	95	14,5	3200	72	6,2	62	6,1
1800	128	18,3	105	14,4					

Обсуждение

Полученные в результате исследования данные дополняют и уточняют известную ранее информацию о подвижности структур среднего уха. В сравнении с данными изложенными в литературе [5], полученных механоэлектрическими методами измерения в прошлом столетии, отмечается значительно меньший размах колебаний барабанной перепонки, однако полученные результаты намного превосходят данные G. Bekesy [5], ввиду того что последние были получены не путем прямых измерений а при помощи аппроксимации на область малых значений данных, полученных при натуральных измерениях значительных амплитуд смещения барабанной перепонки. Наши данные в целом хорошо согласуются с современными данными, полученными с помощью лазерной доплеровской виброметрии J.J. Rosowski и S. Merchant [4]. В наших опытах отмечена несколько большая амплитуда подвижности барабанной перепонки чем в [4], результаты исследования при патологии среднего уха сходны, хотя в целом результаты этих исследований тяжело сравнить с нашими из-за значительной разницы использованных методик измерения. Наиболее сходными с нашими являются данные измерения *in vitro* при помощи чувствительного магнитометра [6]. Также указанные результаты измерений хорошо согласуются с полученными методами математического моделирования результатами H. Wada [7].

Заключение

Лазерный автодинный метод измерения наносмещений барабанной перепонки является весьма перспективным методом получения информации о состоянии структур среднего уха человека, что позволяет внести его в число методов объективной оценки слуховой функции и рекомендовать к внедрению в клиническую практику.

Литература

1. Мареев О.В., Усанов Д.А., Скрипаль А.В. Результаты использования метода лазерного автодинного измерения смещения барабанной перепонки в дифференциальной диагностике патологии среднего уха // Медицинский альманах. 2008. № 3. С. 49-51.
2. Усанов Д.А., Мареев О.В., Скрипаль А.В. Бифуркации удвоения периода колебаний барабанной перепонки при увеличении звукового давления // Письма в ЖТФ. 2007. Том 33. Вып 21. С. 90-94.
3. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Добдин С.Ю. Определение ускорения при микро- и наносмещениях по автодинному сигналу полупроводникового лазера на квантово-размерных структурах // ПЖТФ. 2010. Т. 36, вып. 21. С. 78-84.
4. Rosowski J.J., Mehta R.P., Merchant S.N. Diagnostic Utility of Laser-Doppler Vibrometry in Conductive Hearing Loss with Normal Tympanic Membrane // Otol. Neurotol. 2004. Vol. 25 (3). P. 323-332.
5. Rosowski J.J., Merchant S.N. The Function and Mechanics of Normal, Diseased and Reconstructed Middle Ears. Kugler Publications, 2000. 400 p.
6. Sosa M., Colafemina J.F. Human ear tympanum oscillation recorded using a magnetoresistive sensor // Rev. Sci. Instrum. 2002. Vol. 73. P. 3695-3695.
7. Wada H., Kobayashi T. Dynamic frequency characteristics of the middle ear in guinea pig: The finite-element analysis // Audiology Japan. 2002. Vol. 45. № 4. P. 289-297.