

УДК [616.284-002.2-089.844]:[534.6+534.8]

ИЗУЧЕНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХРЯЩЕВЫХ ПЛАСТИН, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ТИМПАНОПЛАСТИКИ

О.Г. Хоров¹, д.м.н., профессор; Д.М. Плавский¹; С.С. Ануфрик², д.м.н., профессор; В.В. Яничкин²; А.С. Балыкин²

¹ - Кафедра оториноларингологии, офтальмологии и стоматологии, УО «Гродненский государственный медицинский университет»

² - Кафедра лазерной физики и спектроскопии УО «Гродненский государственный университет им. Я.Купалы»

Представлен способ определения амплитудно-частотной характеристики хрящевых пластин в эксперименте, применяемых при тимпанопластике. Экспериментально определена оптимальная толщина (0,2 мм и 0,3 мм) пластины и доказана целесообразность выполнения на ней насечек по разработанной методике, что позволит повысить функциональные результаты тимпаноластики.

Ключевые слова: хрящевая пластина, амплитудно-частотная характеристика хрящевых пластин, электроакустический метод, тимпаноластика, хронический гнойный средний отит.

A method of determining amplitude-frequency response of cartilage plates employed in tympanoplasty is presented. The optimal thickness of the plate (0,2 mm and 0,3 mm) has been determined experimentally and the expediency of making incisions on the plate according to the elaborated technique that allows to improve the functional results of tympanoplasty has been proved.

Key words: cartilage plate, amplitude-frequency response of cartilage plates, electroacoustical technique, tympanoplasty, chronic otitis.

Проблема лечения больных хроническим гнойным средним отитом в настоящее время является одной из наиболее важных в оториноларингологии. Среди современных хирургических методов лечения хронического воспаления среднего уха на первом месте находятся функционально-реконструктивные методы [1, 2]. Известно, что многие вопросы реконструктивной хирургии уже решены в достаточной мере. Поэтому приходится изыскивать минимальные возможности для усовершенствования техники операций, что непосредственно связано с разработками фундаментальных и экспериментальных исследований [3-8]. Результаты эксперимента позволяют расширить потенциал реконструкции элементов среднего уха и тем самым достичь наилучшего функционального результата [6, 9, 10].

Одной из значимых характеристик среднего уха, с физической точки зрения, является амплитудно-частотная характеристика его структурных элементов, к изучению которой постоянно возвращаются исследователи. Так, Хоров О.Г. изучал АЧХ стремени при различных вариантах операций на препаратах изолированной височной кости с применением лазерного интерферометра [2]. Известны также работы по оценке передачи звукового давления цепью слуховых косточек при различной разряженности в среднем ухе с помощью ультразвукового метода [13], а также влиянию изменения объема полостей среднего уха на передачу звука [9]. Проводилось измерение подвижности круглого окна в ответ на смещение барабанной перепонки лазерным доплером [14], а также использовался метод цифровой обработки для определения объема сосцевидной области [15]. С помощью экспериментальной установки, созданной на основе ультразвукового доплеровского зонда, оценивались формы протеза слуховых косточек [16], измерение акустического резонанса у больных, перенесших санлирующие операции на среднем ухе [17].

Изучение амплитуды колебаний барабанной перепонки представляет практический интерес. Устранение дефектов барабанной перепонки хирургическим способом требует в конечном итоге достижения высоких функциональных результатов. Поэтому имеют значения в функциональном плане характеристики материалов, которые используются при таких операциях. Методы для оценки

характеристик должны отличаться высокой чувствительностью. В связи с созданием лазерных автодинов на квантоворазмерных структурах появилась возможность проводить измерения микро- и нановибраций барабанной перепонки in vivo [10, 11, 12, 18].

Нам представляется возможным дальнейшее усовершенствование методик лечения больных хроническим гнойным средним отитом на основе экспериментальных исследований.

Целью проведенных исследований является получение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) хрящевых пластин, применяемых для тимпаноластики с использованием электроакустического метода.

Материалы и методы

Для выполнения эксперимента исследования проводились на хрящевых пластинах толщиной от 0,1 мм до 0,5 мм, нарезанных с высокой точностью на серийном микротоме.

Для получения и регистрации АЧХ хрящевых пластин различной толщины был разработан и применен электроакустический метод. Суть данного метода заключается в том, что регистрируется амплитуда вынужденных колебаний исследуемой пластины в интересующем диапазоне частот, под воздействием на нее акустических колебаний.

Структурная схема экспериментальной установки, представлена на рисунке 1.

Генератор звуковых частот обладает в интересующем диапазоне частот практически линейной амплитудной характеристикой.

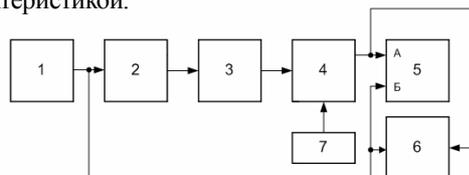


Рисунок 1 – Структурная схема экспериментальной установки

- 1 – генератор сигналов низкочастотный ГЗ-112/1;
 2 – безэховый излучатель; 3 – исследуемая пластина;
 4 – приемное устройство; 5 – двухлучевой осциллограф С1-117/1; 6 – мультиметр АПА-109;
 7 – стабилизированный источник питания ТЭС-17

Безэховый излучатель представляет собой усеченную пирамиду с высотой 200 мм, имеющей в основании стороны 100 и 5 мм. Внутри пирамиды у широкого основания закреплена звуковая динамическая головка 4ГД8Е с неискажаемой звуковой мощностью 4 Вт направленная максимумом излучения в сторону малого основания пирамиды. Изнутри и снаружи, а также широкое основание пирамиды покрыто звукопоглощающим материалом, обеспечивающим излучение звуковых колебаний только в открытое малое отверстие.

Исследуемая хрящевая пластинка закрепляется в держателе с регулируемым натяжением. Сам держатель может перемещаться от среза излучателя до плоскости пластинки в пределах от 1 до 5 мм.

С противоположной стороны в специально изготовленном держателе установлен высокочувствительный электретный микрофон типа МКЕ-378. Держатель микрофона обеспечивает плавное изменение расстояния от среза микрофона до плоскости пластинки в пределах от 1 до 3 мм. В непосредственной близости от микрофона на специальной плате установлен линейный широкополосный (0,2 до 20 кГц) усилитель с коэффициентом усиления, равным 50, обеспечивающий величину сигнала на выходе приемного устройства, достаточную для наблюдения и регистрации.

Регистрирующим устройством является цифровой мультиметр АПА 109. Визуальное наблюдение за сигналом (контрольным и исследуемым) осуществляется с помощью двухлучевого осциллографа С1-117/1. Источником питания приемного устройства, включающего электретный микрофон и линейный усилитель, является регулируемый источник постоянного тока типа ТЭС-21.

На рисунке 2 представлен общий вид лабораторной установки.

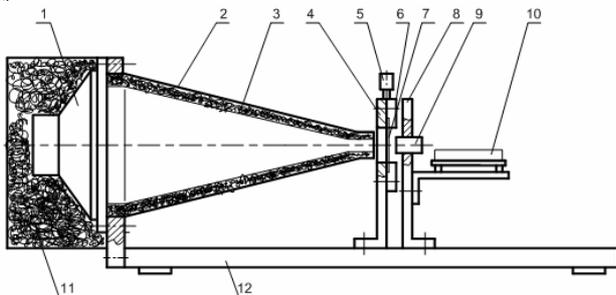


Рисунок 2 – Установка для снятия амплитудно-частотной характеристики хрящевых пластинок

1 – динамическая звуковая головка; 2 – безэховый излучатель; 3, 11 – звуковая изоляция; 4 – держатель подложки; 5 – механизм натяжения подложки; 6 – фиксатор подложки; 7 – хрящевая пластинка; 8 – держатель микрофона; 9 – электретный микрофон; 10 – широкополосный усилитель; 12 – основание установки

Проведение эксперимента

1. Калибровка измерительной линии

Перед началом проведения эксперимента производится калибровка измерительной линии.

Частотная характеристика линии «генератор-регистрирующее устройство» носит нелинейный характер. Нелинейность линии складывается из нелинейности составляющих ее элементов: излучателя, микрофона и усилителя. Для того, чтобы ошибка, вызванная этой нелинейностью, не наложила на АЧХ исследуемой пластинки и тем самым не исказила бы ее, необходимо проделать следующие операции по линеаризации АЧХ измерительной линии: не устанавливая в держатель исследуемую пластинку, пронормировать линию по заранее согласованному модулю. Включается генератор и пода-

ется питание на приемное устройство. На лимбе генератора устанавливается начальная частота 250 Гц. На вход канала А осциллографа приходит сигнал, проходящий через измерительную линию, а на вход Б через ответвитель поступает сигнал от генератора, минуя измерительную линию. Усиление по каналам осциллографа устанавливается удобным для наблюдения и далее оно не регулируется. Перестраивая частоту генератора на фиксируемые частоты 0,25 кГц, 0,5 кГц, 1,5 кГц, 2,0 кГц, 2,5 кГц, 3,0 кГц, 3,5 кГц, 4 кГц устанавливается с помощью регулировки амплитуды на выходе генератора такое напряжение, чтобы на всех фиксированных точках сигнал, прошедший через линию, индицируемый на развертке А осциллографа и измеренный мультиметром, не изменялся по амплитуде. При этом выходное напряжение генератора, отображаемое в канале Б осциллографа, измеряется с помощью мультиметра и заносится в таблицу 1. Данные этой таблицы в дальнейшем будут использоваться для установки выходного напряжения генератора при измерениях на соответствующих фиксированных точках диапазона. Таким образом, достигается линейность АЧХ сквозного канала измерительной линии.

Таблица 1 – Калибровочные данные измерительной линии

f, кГц	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
U _{вх.} , В	12	12	9	9	5	5	5	10	13
U _{вых.} , В	5	5	5	5	5	5	5	5	5

2. Снятие АЧХ исследуемых пластинок

При снятии АЧХ пластинок одной толщины вначале записывается АЧХ пластины без насечек, а затем с нанесенными соответствующим образом насечками. Насечки выполнялись с двух сторон пластины таким образом, чтобы они не совпадали в одной плоскости, но при этом немного выходили за середину пластины. Далее исследуемая пластинка зажимается узкими краями в держателе и с помощью натяжного устройства устанавливается сила натяжения, равная 5 г. На лимбе генератора устанавливается частота 0,5 кГц. Амплитуда сигнала генератора по прибору АПА-109 устанавливается в соответствии с таблицей 1 для данной фиксированной точки. Атенюатором канала А осциллографа устанавливается величина сигнала, удобная для наблюдения, и она же, измеренная мультиметром, заносится в таблицу 2 как начальная. Затем устанавливается частота генератора, соответствующая следующей фиксированной точке, при этом из таблицы 1 устанавливается величина выходного сигнала генератора и производится очередной отсчет и т.д. для всех фиксированных точек АЧХ. По окончании записи АЧХ этой пластины она снимается с держателя и нарезается соответствующим образом по предложенной методике, опять вставляется в держатель и аналогично указанному выше алгоритму прописывается ее АЧХ. Данные записываются в эту же таблицу.

Порядок работы с пластинами других толщин проводится аналогичным образом. Определение амплитудно-частотной характеристики хрящевых пластинок производилось на каждой частоте не менее 3 раз.

Результаты эксперимента и их оценка

1. Амплитудно-частотная характеристика хрящевых пластинок толщиной 0,1 мм

Амплитуда отклика хрящевой пластины с насечками, по сравнению с амплитудой отклика, полученной с пластины без насечек, оказалась большей на частотах от 1100 Гц и выше по всему исследуемому частотному диапазону (табл. 2, рис. 3). Наибольшее увеличение амплитуды, до 10 мВ, наблюдалось на частоте 3500 Гц и 10,5 мВ на

частоте 4000 Гц. На частотах 250-1100 Гц амплитуда отклика оказалась меньше у пластины с насечками.

Среднее значение амплитуды колебаний пластины без насечек по всему исследуемому диапазону составило 8,1 мВ, а пластины с нанесенными насечками 11,2 мВ. Сравнение значений АЧХ пластин с насечками и без них показало статистически достоверно меньшие показатели хрящевых пластин без насечек ($P < 0,05$).

Таблица 2 – значения АЧХ хрящевых пластин толщиной 0,1 мм без насечек А1 и с насечками А2

f, кГц	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
A1, мВ	3	8	10	10,5	10,7	10	8,5	7	5
A2, мВ	2	3	9	13	15	14	12	17	15,5

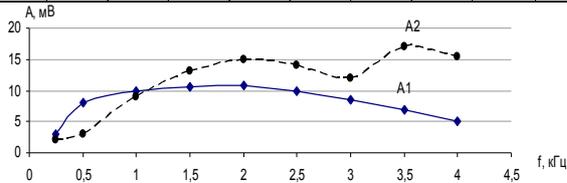


Рисунок 3 – Амплитудно-частотная характеристика хрящевых пластин без насечек А1 и с насечками А2 толщиной 0,1 мм

2. Амплитудно-частотная характеристика хрящевых пластин толщиной 0,2 мм

На частотах от 750 Гц до 4000 Гц амплитуда отклика исследуемого образца с насечками была заметно больше, чем у пластин соответствующей толщины, но без нанесения насечек (табл. 3, рис. 4). А на частоте от 250 Гц до 750 Гц АЧХ обеих пластин была практически равной. Наибольшее увеличение амплитуды до 7 мВ наблюдается на частоте 3500 в сравнении с образцом без насечек.

Среднее значение амплитуды колебаний пластины без насечек по всему исследуемому диапазону составило 8,5 мВ, а пластины с нанесенными насечками 11,2 мВ. Сравнение значений АЧХ пластин с насечками и без них показало статистически достоверно меньшие показатели хрящевых пластин без насечек ($P < 0,05$).

Таблица 3 – Значения АЧХ хрящевых пластин толщиной 0,2 мм без насечек А1 и с насечками А2

f, кГц	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
A1, мВ	3	7,5	11	11	11	10	9	8	6
A2, мВ	3	7	12	13	14	12	13	15	12

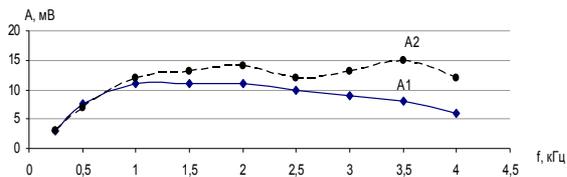


Рисунок 4 – Амплитудно-частотная характеристика хрящевых пластин без насечек А1 и с насечками А2 толщиной 0,2 мм

3. Амплитудно-частотная характеристика хрящевых пластин толщиной 0,3 мм

При исследовании хрящевых пластин толщиной 0,3 мм амплитуда отклика пластины с насечками была меньше, чем у пластин без насечек на частотах 250 и 500 Гц (табл. 4, рис. 5). На частотах от 600 Гц и выше по всему исследуемому диапазону (до 4000 Гц) амплитуда отклика пластины с насечками была больше по сравнению с аналогичной пластиной, но без насечек. Максимальное увеличение амплитуды составило 9 мВ на частоте 1500 Гц. На частоте 2500 Гц АЧХ исследуемых пластин была равной.

Среднее значение амплитуды колебаний пластины без насечек по всему исследуемому диапазону составило 7,6 мВ, а пластины с нанесенными насечками 10,8 мВ. Сравнение значений АЧХ пластин с насечками и без них показало статистически достоверно меньшие показатели хрящевых пластин без насечек ($P < 0,05$).

Таблица 4 – Значения АЧХ хрящевых пластин толщиной 0,3 мм без насечек А1 и с насечками А2

f, кГц	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
A1, мВ	2	7	10	5	11	11	10	9	3
A2, мВ	1	6	13	14	16	11	12	14	10

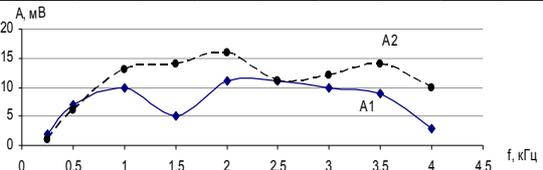


Рисунок 5 – Амплитудно-частотная характеристика хрящевых пластин без насечек А1 и с насечками А2 толщиной 0,3 мм

4. Амплитудно-частотная характеристика хрящевых пластин толщиной 0,4 мм

Исследуя данные пластины, было установлено, что на частотах 250-700 Гц, 2000 Гц, а также 3900 Гц и выше амплитуда колебаний оказалась меньше у пластины с насечками (табл. 5, рис. 6). На других частотах 1000, 1500, 2500, 3000, 3500 Гц амплитудно-частотная характеристика пластины с насечками оказалась большей. Наибольшее увеличение амплитуды до 6 мВ наблюдается на частоте 3500 в сравнении с образцом без насечек.

Среднее значение амплитуды колебаний пластины без насечек по всему исследуемому диапазону составило 7 мВ, а пластины с нанесенными насечками 7,8 мВ. Сравнение значений пластин без насечек и с их нанесением статистически достоверно не отличалось.

Таблица 4 – Значения АЧХ хрящевых пластин толщиной 0,3 мм без насечек А1 и с насечками А2

f, кГц	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
A1, мВ	2	7	10	5	11	11	10	9	3
A2, мВ	1	6	13	14	16	11	12	14	10

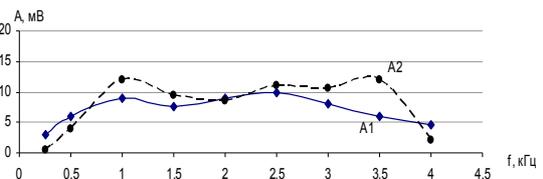


Рисунок 6 – Амплитудно-частотная характеристика хрящевых пластин без насечек А1 и с насечками А2 толщиной 0,4 мм

5. Амплитудно-частотная характеристика хрящевых пластин толщиной 0,5 мм

При исследовании хрящевых пластин толщиной 0,5 мм амплитуда отклика хрящевых пластин с насечками была больше аналогичных пластин без насечек на частотах 1500, 3000, 3500 Гц. На других частотах АЧХ пластин без насечек превышала АЧХ таких же пластин, но с нанесенными насечками. Наибольшее увеличение амплитуды до 4 мВ наблюдается на частоте 3500 в сравнении с образцом без насечек.

Среднее значение амплитуды колебаний пластины без насечек по всему исследуемому диапазону составило 5,5 мВ, а пластины с нанесенными насечками 5,1 мВ. Сравнение значений пластин без насечек и с их нанесением статистически достоверно не отличалось.

Таблица 6 – Значения АЧХ хрящевых пластин толщиной 0,5 мм без насечек А1 и с насечками А2

f, кГц	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
A1, мВ	4	5	7,5	6,5	6	8,5	7	3	2
A2, мВ		2,5	5,5	8	6	7,5	8,5	7	1

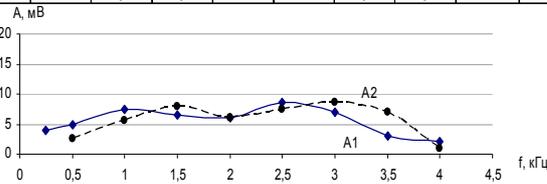


Рисунок 7 – Амплитудно-частотная характеристика хрящевых пластин без насечек А1 и с насечками А2 толщиной 0,5 мм

Таким образом, проведенное исследование показывает высокую точность и большие возможности электроакустического метода для оценки амплитудно-частотной характеристики хрящевых пластин. Впервые в эксперименте с помощью данного метода удалось определить АЧХ хрящевых пластин различной толщины в исследуемом частотном диапазоне, применяемых при выполнении тимпанопластики. Исследуя и анализируя АЧХ пластин с насечками и без их нанесения толщиной от 0,1 мм до 0,5 мм, были получены данные, позволившие определить наиболее оптимальную толщину пластины, а также доказана целесообразность выполнения на ней насечек по предложенной методике.

Оценка полученных в эксперименте результатов свидетельствует о том, что хрящевые пластины толщиной 0,1 мм, 0,2 мм и 0,3 мм имеют наилучшую АЧХ среди всех исследуемых пластин без нанесения насечек (соответственно, 8,1 мВ; 8,5 мВ; 7,6 мВ). При этом АЧХ пластин ухудшается с увеличением их толщины: 0,4 мм – 7 мВ; 0,5 мм – 5,5 мВ. Однако после выполнения насечек наилучшая АЧХ была получена у пластин толщиной 0,1 мм и 0,2 мм – 11,2 мВ в обоих случаях, а при толщине 0,3 мм – 10,8 мВ. Отмечается также ухудшение АЧХ при увеличении толщины пластины с насечками: 0,4 мм – 7,8 мВ; 0,5 мм – 5,1 мВ. АЧХ пластин толщиной 0,4 мм и 0,5 мм с насечками и без них была практически одинаковой и не зависит от нанесения насечек.

Как видно из полученных данных, у пластин с насечками толщиной 0,1 мм, 0,2 мм и 0,3 мм значения АЧХ значительно лучше, чем у соответствующих пластин без насечек, а это свидетельствует о том, что колебательные свойства таких пластинок значительно выше. Следует отметить, что с увеличением толщины пластины ухудшается ее АЧХ, что говорит об уменьшении колебательной способности пластинки под действием звуковых колебаний. Значения АЧХ, полученные с пластин с насечками толщиной 0,1 мм, 0,2 мм и 0,3 мм, статистически достоверно отличались от значений с аналогичными пластинами без насечек. А у значений АЧХ с пластин толщиной 0,4 мм и 0,5 мм статистически достоверных отличий не было установлено.

Амплитудно-частотная характеристика пластины с насечками, толщиной 0,1 мм (11,2 мВ), была значительно лучшей, чем у аналогичной пластины без насечек (8,1 мВ). Из этого следует, что пластина с насечками обладает значительно большей колебательной способностью. Но как показывает наш собственный опыт использования таких пластин, их применение во время операции весьма затруднительно из-за отсутствия достаточной ригидности, в результате чего такая пластина не может выполнять предназначенные ей функции. По этой причине от применения этих пластин для тимпанопластики мы отказались.

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие **выводы**:

1. Впервые в эксперименте на хрящевых пластинах с применением электроакустического метода изучена их АЧХ с целью оценки акустических характеристик хрящевых пластин, применяемых для тимпанопластики.

2. Данные, полученные в эксперименте с использованием электроакустического метода, позволяют определить оптимальную толщину хрящевой пластины и доказывают необходимость и целесообразность выполнения на ней насечек. Наибольшую амплитуду колебаний имеют пластины толщиной 0,2 мм и 0,3 мм с нанесенными на них насечками по предложенной методике.

Литература

1. New Knowledge about the function of the human middle ear: development of an improved analog model / M.D. Goode [and others] // The American journal of otology – 1994. Vol. 15, № 2. – P. 145-154.
2. Хоров, О.Г. Изучение амплитудно-частотной характеристики стремени при моделировании операций в препарате височной кости / О.Г. Хоров // Folia otorhinolaryngologica. – 1999. – Vol. 5, № 3-4. – P. 88-94.
3. Кобрак, Г.Г. Среднее ухо / Г.Г. Кобрак. – М.: Медицина, 1963. – 466 с.
4. Яшан, И.А. Функциональное значение барабанной перепонки и рычажного механизма барабанной системы при слухоулучшающих операциях / И.А. Яшан // Журнал ушных, носовых и горловых болезней. – 1987. – №4. – С. 59-64.
5. Kennet, R. Acoustic mechanism: Canal wall-up versus canal wall down mastoidectomy / R. Kennet, J. Rosinski // Otolaryngology Head and Neck Surgery. – Хнет годаX. – Vol. 118, № 6. – P. 751-761.
6. Rosowski, J.J. Mechanical and acoustic analysis of middle ear reconstruction / J.J. Rosowski, S.N. Merchant // Am. J. Otol. – 1995. – Vol. 16, № 4. – P. 486-497.
7. Tolley, N. S. Experimental studies on the acoustic properties of mastoid cavities / N.S. Tolley, K. Ison, A. Mirza // J. Laryngol. Otol. – 1992. – Vol. 106, № 7. – P. 597-599.
8. Whittemore, K. R. Acoustic mechanisms: canal wall-up versus canal wall-down mastoidectomy / K.R. Whittemore, S. Merchant, J.J. Rosowski // Otolaryngol. Head Neck Surg. – 1998. – Vol. 118, № 6. – P. 751-761.
9. Борисенко, О.Н. Влияние изменения объема полостей среднего уха на передачу звука / О.Н. Борисенко [и др.] // Проблема реабилитации в оториноларингологии: материалы тр. всерос. конф. с междунар. участием и семинара Актуальные вопросы фониатрии., Самара, 14-16 мая 2003 г. / Самарский гос. мед. ун-т; редкол.: Ю.К. Янова [и др.]. – Самара, 2003. – С. 99-102.
10. Rosowski, J.J. Diagnostic Utility of Laser-Doppler Vibrometry in Conductive Hearing Loss with Normal Tympanic Membrane / J.J. Rosowski // Otol Neurotol. – 2004. – Vol. 25, № 3. – P. 323-332.
11. Усанов, Д.А. Измерение амплитуды колебаний барабанной перепонки по спектру автодинного сигнала полупроводникового лазера на квантоворазмерных структурах / Д.А. Усанов [и др.] // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2004. – № 8-9. – С. 94-97.
12. Сборник научных трудов «Естественнознание и гуманизм» в 5 т. / сост.: О.В. Мареев [и др.] К вопросу о измерении подвижности барабанной перепонки // 2008г, Том 5, выпуск 1, С. 76.
13. Гусаков, А.Д. Влияние антростапидальной полости на звукопроводимость среднего уха в эксперименте / А.Д. Гусаков, В.В. Березнюк // Журн. ушных, носовых и горловых болезней. – 1987. – № 4. – С. 54-58.
14. Asai, M. Analysis of the best site on the stapes footplate for ossicular chain reconstruction / M. Asai, A.M. Huber, R.L. Goode // Acta Otolaryngol. – 1999. – Vol. 119, № 3. – P. 356-361.
15. Computerized assessment of the mastoid air cell system / M. Isono [and others] // Auris-Nasus-Larynx. – 1999. – Vol. 26, № 2. – P. 139-145.
16. Островский, А.И. Устройство для ультразвукового контроля протезов слуховых косточек в эксперименте / А.И. Островский // Вестник оториноларингологии. – 1995. – № 3. – С. 47-49.
17. Jang, C.H. Changes in external ear resonance after mastoidectomy: open cavity mastoid versus obliterated mastoid cavity / C.N. Jang // Clin Otolaryngol Allied Sciences. – 2002. – Vol. 27, № 6. – P. 509.
18. Tonndorf, J. Submicroscopic displacement amplitudes of the tympanic membrane (cat) measured by a laser interferometer / J. Tonndorf, S.M. Khanna // J. Acoust. Soc. – 1968. – Vol. 44. – P. 1546-1554.

Поступила 19.02.10