

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Пикамилон позитивно влиял на тонус мелких регионарных артерий и артериол и улучшал венозный отток крови из предплечья пловцов.

2. Аминалон и фенибут не оказывали заметного влияния на кровообращение мускулатуры предплечья при данных схеме и длительности применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гавриков К. В., Исупов И. Б., Томарева И. В. // Вестник новых медицинских технологий. — Тула, 1998. — Т. V, № 1. — С. 46—47.

2. Иванов Л. Б. Лекции по клинической реографии / Л. Б. Иванов, В. А. Макаров. — М.: АОЗТ «Антидор», 2000. — 320 с.

3. Исупов, И. Б. Системный анализ церебрального кровообращения человека: монография. — Волгоград: Перемена, 2001. — 139 с.

4. Лиходеева В. А., Исупов И. Б., Мандриков В. Б., Бабашев А. Э. // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. — 2008. — № 3. — С. 5—8.

5. Лиходеева В. А., Спасов А. А., Исупов И. Б. и др. // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. — 2009. — № 1. — С. 59—62.

6. Лиходеева В. А., Спасов А. А., Исупов И. Б. и др. // Вестник новых медицинских технологий, 2009. — Т. XVI. — № 3. — С. 222—225.

7. Лиходеева, В. А., Исупов И. Б., Спасов А. А. и др. // Теория и практика физической культуры. — 2011. — № 6. — С. 50—53.

8. Лиходеева В. А. Фармакологическая коррекция функционального состояния спортсменов на базовом этапе тренировочного процесса в условиях дизадаптации: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Волгоград, 2011. — 46 с.

9. Николь Н. Электронные таблицы Excel I 5.0: Практическое пособие. — М.: ЭКОМ, 1996. — 352 с.

10. Никифоров, А. М. Диалоговая система анализа статистических данных. — М.: Диалог, 1991. — 175 с.

11. Петров В. И. Экспериментальная и клиническая фармакология. — 2003. — Т. 66, № 2. — С. 20—23.

12. Петров В. И., Попов А. С., Иноземцев А. В. // Вестник Российской академии медицинских наук. — 2004. — № 4. — С. 14—18.

Контактная информация

Лиходеева Вера Александровна — д. б. н., доцент каф. анатомии и физиологии, Волгоградская государственная академия физической культуры, e-mail: v-lihodeeva@mail.ru

УДК 616.285

ДИАПАЗОН СМЕЩЕНИЙ БАРАБАННОЙ ПЕРЕПОНКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛАЗЕРНОГО АВТОДИНА

Г. О. Мареев

Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского

Исследование посвящено оценке состояния структур среднего уха при помощи современных нанотехнологических методов. Приведены результаты собственных исследований подвижности барабанной перепонки при помощи лазерного автодинного измерителя и их значение в дифференциальной диагностике заболеваний уха.

Ключевые слова: лазерный автодин, барабанная перепонка, среднее ухо, тугоухость.

TYMPANIC MEMBRANE VIBRATION RANGE ASSESSED BY LASER AUTODYNE EFFECT

G. O. Mareev

The study is devoted to assessing the state of the middle ear structures by using modern nanotechnology methods. We present the results of our own research of the eardrum movements with a laser autodyne and their value in differential diagnosis of ear diseases.

Key words: laser autodyne, middle ear, tympanic membrane, hearing loss.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Использовать лазерный автодинный метод измерения наносмещений для оценки вибрационных характеристик среднего уха при звуковой стимуляции в свободном поле, дать оценку его применению в качестве инструмента дифференциальной диагностики заболеваний уха.

По данным Министерства здравоохранения Российской Федерации, распространенность заболеваний

органа слуха в России составляет 17,6 на 1 тыс. населения среди взрослых и 1,2 на 1 тыс. населения среди детей [3]. При этом чаще всего (до 70—80 %) наблюдается поражение звуковоспринимающего аппарата, обусловленное дегенеративными изменениями улитки или слухового нерва — так называемая сенсоневральная тугоухость. У 20—30 % больных тугоухость связана с поражением звукопроводящего аппарата. В некоторых случаях дифференциальная диагностика этих двух

форм тугоухости затруднена, часто встречается и смешанная форма тугоухости, при лечении которой весьма важно учитывать сравнительный вклад в потерю слуха патологии среднего и внутреннего уха. При такой патологии наряду с консервативным лечением применяется также и хирургическое лечение — слухоулучшающие операции. Среди хирургических способов, применяемых для улучшения слуховой функции при кондуктивной тугоухости можно выделить такие как тимпанопластика, стапедопластика, мобилизация стремени. Однако отсутствие стойкого положительного эффекта в некоторых случаях может быть связано с различием физико-механических свойств тимпанопластических лоскутов, изменением соотношений микромеханики среднего уха. Таким образом, слухоулучшающие операции у больных с кондуктивной тугоухостью приводят к изменению механических свойств среднего уха и потому крайне необходима возможность контроля результатов вмешательства при помощи оценки проводящей функции структур среднего уха, как в послеоперационном периоде, так и в некоторых случаях интраоперационно.

Немаловажное значение в настоящее время имеет также оценка состояния структур среднего уха при оперативных вмешательствах, сочетающихся с установкой в барабанной полости имплантируемых слуховых аппаратов, основанных на методике прямой стимуляции структур среднего уха [3]. Непосредственный контроль подвижности барабанной перепонки и всей цепи слуховых косточек необходим на этапах дооперационного обследования больных, идущих на данное хирургическое вмешательство, и после него; кроме того, чрезвычайно необходимы и методы контроля подвижности и условий передачи энергии реконструированной цепью слуховых косточек во время проведения таких операций.

Для измерения подвижности барабанной перепонки в модельном опыте на кошках S. M. Khanpa, J. Thondorf [8] использовали голографическую интерферометрию, однако размеры и громоздкость установки ограничивают ее применение *in vivo*. Также в последние годы существует большое количество теоретических разработок механизма колебания барабанной перепонки и его моделирования [10]. При этом результаты моделирования в общем варьируют от 10 до 100 нм при различных уровнях звукового давления. В работе J. J. Rosowski, et al. [6] продемонстрированы основные возможности по измерению подвижности барабанной перепонки и структур среднего уха *in vivo* путем лазерной доплеровской виброметрии и ее дифференциально-диагностические признаки при кондуктивной тугоухости различного генеза.

В настоящее время в связи с созданием лазерных автодинов на квантоворазмерных структурах появилась возможность проводить измерения микро- и нановибраций биологической ткани *in vivo*, что дает возможность с достаточной точностью провести исследования подвижности структур среднего уха.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Нами было обследовано всего 207 человек, разделенных на 7 основных групп по наличию различной патологии слуха или ее отсутствию. В их числе — 50 человек без сведений о патологии уха в анамнезе и имеющих нормальный слух по данным аудиометрического обследования (контрольная группа); 65 больных с нейросенсорной тугоухостью различного генеза; 20 больных адгезивным средним отитом; 12 больных с отосклерозом; 20 больных с острым гнойным средним неперфоративным отитом; 20 больных хроническим гнойным средним отитом; 20 больных с тубоотитом. Процедура измерений проводилась в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации.

Автодинный эффект — изменение режима работы лазерного диода при возвращении части излучения обратно в его резонатор. Устройства, использующие этот принцип измерения, обладают очень высокой чувствительностью к изменениям отраженного сигнала. Путем соответствующей математической обработки по спектру автодинного сигнала определяют амплитуду нанокосильных колебаний объекта. Авторами впервые предложена система, состоящая из лазерного автодинного измерителя для измерения подвижности барабанной перепонки, как в модельных опытах, так и в клинической практике (патент РФ № 2258462) [2, 4].

Разработанный нами прибор может быть укреплен как на голове обследуемого, так при помощи специального устройства он может быть закреплен и на операционный микроскоп (патент РФ № 88537, № 95997). В последнем случае прибор дает возможность исследования подвижности барабанной перепонки в нескольких точках. Чувствительность разработанного нами прибора — от единиц нанометров позволяет проводить исследования на пороге слышимости для большинства частот звукового диапазона. Измерения проводились в свободном звуковом поле, для создания необходимого уровня звукового давления использовался калиброванный по измерителю уровня звукового давления генератор. Калибровка нами производилась по уровню звукового давления (УЗД), создаваемого в наружном слуховом проходе при помощи акустического зонда. Акустические измерения выполнены при помощи аппаратуры фирмы «Bruel & Kjaer».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для выявления основных закономерностей и результатов, получаемых при исследовании колебаний барабанной перепонки предложенным методом, нами были проведены клинические измерения на группе отолитически нормальных лиц (не имеющих существенных изменений на аудиограмме, отсутствием данных о патологии уха в анамнезе и признанные отолитически здоровыми после тщательного клинического обследования), которую составили 50 человек в возрасте от 15 до 75 лет, 25 мужчин и 25 женщин. В каждом случае исследование проводилось

на обоих ушах, всего обследовано 100 ушей. Исследования подвижности барабанной перепонки и вибрационных свойств интактного среднего уха проводились при помощи лазерной автодинной установки, жестко фиксируемой на голове обследуемого при помощи устройства для крепления приборов. Исследовалась амплитудно-частотная вибрационная характеристика (АЧВХ) барабанной перепонки на частотах 250—4000 Гц с УЗД 30, 55, 75, 85 дБ. Полученные данные приведены на рис. а (для УЗД 75 дБ). Из приведенного графика можно сделать вывод, что наибольшие колебания барабанная перепонка совершает при стимуляции низкими частотами, резонансные частоты выражены в зоне 800—1250 Гц. При исследовании характера изменения колебаний барабанной перепонки с нарастанием УЗД отмечалось, что амплитуда колебаний нарастает практически линейно на всех частотах, однако с различной скоростью (что отражает различный угол наклона к оси абсцисс полученной зависимости на графиках).

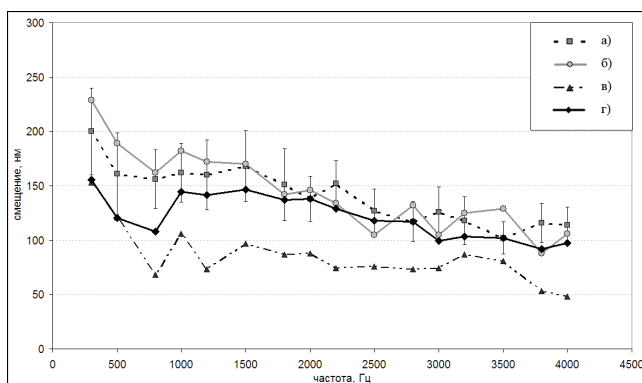


Рис. Средние АЧВХ среднего уха человека в различных группах обследованных при измерениях при в частотном диапазоне 250—4000 Гц со стимуляцией в свободном звуковом поле (УЗД = 75 дБ в наружном слуховом проходе): а) отолитически нормальные лица (показана граница статистически незначимых отклонений от кривой); б) сенсоневральная тугоухость; в) адгезивный средний отит; г) отосклероз

При сравнении АЧВХ в различных возрастных группах (сформировано 3 подгруппы с возрастным интервалом 20 лет) не было обнаружено статистически значимых отличий, что свидетельствует об отсутствии возрастных изменений в микромеханике среднего уха с возрастом у отолитически нормальных лиц.

Для установления клинических дифференциально-диагностических критериев патологии среднего и внутреннего уха при использовании для диагностики лазерного автодинного метода нами было проведено исследование нескольких групп больных с различной патологией уха. Всем больным проводилось тщательное аудиологическое и клиническое обследование, а также измерение подвижности барабанной перепонки по оригинальным авторским методикам. Нами проводилось измерение АЧВХ барабанной перепонки при уровнях звукового давления в 75 и 85 дБ, а также исследовалась зависимость нарастания амплитуды сме-

щения колебаний барабанной перепонки от роста уровня звукового давления на частоте 1000 Гц.

Исследована подвижность барабанной перепонки предложенным нами методом у 20 больных адгезивным отитом (12 женщин, 8 мужчин). Из них тугоухость 1 степени отмечена у 8 обследованных, II степени — у 8, III степени — у 4. Нами отмечено, что у больных с адгезивным отитом отмечается выраженное уменьшение смещения барабанной перепонки, регистрируемое во всех случаях. При этом форма кривой на графике АЧВХ смещения барабанной перепонки повторяет форму кривой воздушной проводимости на аудиограмме. Различия амплитуды смещения барабанной перепонки по сравнению с отолитически нормальными лицами являются статистически значимыми (рис. в). Кривая нарастания амплитуды колебания барабанной перепонки на частоте 1000 Гц заметно более пологая, чем средняя кривая в группе отолитически нормальных лиц.

Также нами обследовано 65 больных с нейросенсорной тугоухостью различного генеза (25 женщин, 15 мужчин). Из них тугоухость 1 степени отмечалась у 10 больных, II степени — 25, III степени — у 30 лиц. На основании результатов этих исследований можно сделать вывод о том, что у больных с нейросенсорной тугоухостью не отмечается выраженных изменений колебательной способности барабанной перепонки. В сравнении с результатом, полученным у здоровых лиц, амплитудно-частотная характеристика не выходит за пределы нормы (рис. 1, в). В отличие от больных адгезивным отитом форма кривой на графике АЧВХ смещения барабанной перепонки не адекватна форме кривой воздушной проводимости на аудиограмме.

При отосклерозе (группа больных представлена 12 больными, с изменениями на аудиограмме, характерными для кондуктивной тугоухости) не отмечается столь выраженного изменения нарастания амплитуды смещения колебаний и снижения амплитуды колебаний на АЧВХ перепонки, как при адгезивных процессах. В этих случаях кривая АЧВХ не отличается статистически значимо от таковой у здоровых лиц, несмотря на прослеживающуюся тенденцию к некоторому уменьшению амплитуды колебаний на низких частотах (различия в группах статистически значимы только на частотах 250—750 Гц, рис. г).

Исследования, проведенные нами у больных с острым гнойным средним неперфоративным отитом (20 человек), показывают, что имеется значительное снижение амплитуды колебания барабанной перепонки в разгар заболевания. При этом снижение амплитуды колебаний происходит практически на всех частотах звукового спектра, больше всего — в зоне низких и средних частот. Различия с группой отолитически нормальных лиц статистически значимы.

У лиц, страдающих хроническим гнойным средним отитом, при исследовании обнаружены (обследовано 20 человек) довольно значительные изменения в колебательной способности остатков барабанной перепонки, коррелирующие с размером перфорации в барабанной пе-

репонке. Так, при сравнительно небольших перфорациях барабанной перепонки наблюдается нормальная кривая, либо незначительное повышение амплитуды колебаний барабанной перепонки на низких частотах. При наличии значительных перфораций (занимающих 25—30 %) площади барабанной перепонки отмечается значительное повышение колебаний остатков барабанной перепонки. В данном случае отсутствует корреляция с данными тональной пороговой аудиометрии. Это можно объяснить тем, что при нарушении анатомической целостности барабанной перепонки амплитуда колебания ее свободных краев значительно увеличивается, наличие кондуктивной тугоухости у данных пациентов в основном определяется в таком случае не столько перфорацией барабанной перепонки, сколько отсутствием градиента давления при действии звуковой волны.

Интерес представляют исследования, выполненные у больных с тугоухостью (евстахеитом). Исследования проводились у больных (всего обследовано 20 чел.) с выраженной клинической симптоматикой тугоухости — субъективными ощущениями заложенности уха, снижением слуха и шумом в ухе, аутофонией; отрицательными результатами пробы Вальсальвы и продувания по Политцеру; наличием, по данным аудиометрии, кондуктивной тугоухости с костно-воздушным интервалом не менее 20—25 дБ. При этом были выявлены изменения АЧВХ барабанной перепонки, коррелирующие с выраженностью изменений на аудиограмме и заключающиеся в понижении амплитуды колебаний барабанной перепонки, некотором изменении нарастания амплитуды колебаний барабанной перепонки относительно здоровых лиц. В данном случае также нами проводилась специальная проба на проходимость слуховой трубы. При подаче зондирующего тона в исследуемое ухо (частотой 1500—2000 Гц) интенсивностью 75—85 дБ и выполнении обследуемым пробы Вальсальвы на графике спектрограммы сигнала автодина, исследуемого в реальном времени, не появлялось резких изменений спектрограммы, свидетельствующих о нарушении гармонического характера колебаний барабанной перепонки (то есть о проходимости слуховой трубы). При неизменности картины в данном случае (непроходимости слуховой трубы) выполнялась проба Политцера. Выполнение указанных проб при данном исследовании проходимости слуховой трубы дает возможность классифицировать проходимость слуховой трубы на несколько степеней. Предложенный способ является объективной регистрацией степени проходимости слуховой трубы (патент РФ № 2388406).

Полученные в результате исследования данные дополняют и уточняют известную ранее информацию о подвижности структур среднего уха. В сравнении с данными, изложенными в литературе прошлого столетия [7], отмечается значительно меньший размах колебаний барабанной перепонки, однако полученные результаты намного превосходят данные G. Bekesy, ввиду того что последние были получены не путем прямых измерений, а при помощи аппроксимации на область малых значений данных, полученных

при натурных 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 [6]. В наших опытах отмечена несколько большая амплитуда подвижности барабанной перепонки чем в [6], результаты исследования при патологии среднего уха сходны, хотя в целом результаты этих исследований тяжело сравнивать с нашими из-за значительной разницы использованных методик измерения. Наиболее сходными с нашими являются данные измерения *in vitro* при помощи чувствительного магнитометра [9]. Также указанные результаты измерений хорошо согласуются с полученными методами математического моделирования результатами H. Wada [10]. Поведение барабанной перепонки с перфорацией аналогично изложенному в литературе модельному эксперименту [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, 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. Кобрак Г. Среднее ухо. — М.: Медгиз, 1963. — 455 с.
2. Мареев О. В., Усанов Д. А., Скрипаль А. В. // Медицинский альманах. — 2008. — № 3. — С. 49—51.
3. Тарасов Д. И., Лебедев В. П., Токарев О. П. Тугоухость у детей. — М.: Медицина, 1984. — 239 с.
4. Усанов Д. А., Скрипаль А. В., Добдин С. Ю. // ПЖТФ. — 2010. — Т. 36, вып. 21. — С. 78—84.
5. Hough J., Dyer R., Dormer K., Matthews P., [et al.] The Function and Mechanics of Normal, Diseased and Reconstructed Middle Ears. J. Rosowski and S. Merchant (Eds). Kugler Publications, Netherlands. — 2000. — P. 353—366.
6. Rosowski J. J., Mehta R. P., Merchant S. N. // Otol. Neurotol. — 2004. — Vol. 25 (3). — P. 323—332.
7. Sosa M., Carneiro A. A. O., Baffa O., et al. // Rev. Sci. Instrum. — 2002. — Vol. 73. — P. 3695—3695.
8. Tonndorf J., Khanna S. M. // J. Acoust. Soc. Amer. — 1968. — Vol. 44. — P. 1546—1554.
9. Voss S. E., Rosowski J. J., Merchant S. N., et al. // The Journal of the Acoustical Society of America. — 2001. — Vol. 110. Issue 3. — P. 1445—1452.
10. Wada H., Kobayashi T. // Audiology Japan. — 2002. — Vol. 45, № 4. — P. 289—297.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Мареев Глеб Олегович — к. м. н., ассистент кафедры оториноларингологии, Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского, e-mail: jey_trasher@mail.ru