

<https://doi.org/10.17116/otorino201883140-43>

## Показатели широкополосной тимпанометрии у лиц с нормальным слухом

Засл. деятель науки РФ, проф. В.Т. ПАЛЬЧУН<sup>1,2</sup>, д.б.н. Н.С. ТРОПСКАЯ<sup>3</sup>, к.м.н. Ю.В. ЛЕВИНА<sup>1,2</sup>, асп. С.П. ЕФИМОВА<sup>1</sup>, к.м.н. А.Л. ГУСЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кафедра оториноларингологии (зав. — засл. деятель науки РФ проф. А.И. Крюков) Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия, 117997; <sup>2</sup>Научно-исследовательский клинический институт оториноларингологии им. Л.И. Свержевского (дир. — засл. деятель науки РФ проф. А.И. Крюков) Департамента здравоохранения Москвы, Москва, Россия, 117152; <sup>3</sup>Научная лаборатория экспериментальной патологии Научно-исследовательского института скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения Москвы, Москва, Россия, 129090

**Цель исследования** — изучение показателей широкополосной тимпанометрии у здоровых добровольцев. В исследование включены 54 добровольца (27 мужчин, 27 женщин) от 21 года до 55 лет, не имеющие патологических изменений со стороны слуховой системы. Всем добровольцам при широкополосной тимпанометрии проводились измерения абсорбанса в диапазоне частот от 226 до 8000 Гц при давлении окружающей среды. Определены 5 параметров, отражающих основные характеристики кривой абсорбанса: максимальный коэффициент поглощения звуковой энергии; частота, на которой происходит максимальное поглощение звуковой энергии структурами уха; частота, на которой происходят резкое повышение коэффициента поглощения от плато; частота, на которой происходят резкое снижение коэффициента поглощения и переход к плато; частотный диапазон, на котором активно меняется величина поглощения. Полученные результаты демонстрировали стабильность ответа; также не получено статистически значимых отличий в параметрах абсорбанса в исследуемой возрастной группе между мужчинами и женщинами при анализе как одноименного, так и разноименных ушей.

**Ключевые слова:** широкополосная тимпанометрия, абсорбанс.

## The characteristics of broad-band tympanometry in the volunteers with the unaffected hearing

V.T. PAL'CHUN, N.S. TROPSKAYA, YU.V. LEVINA, S.P. EFIMOVA, A.L. GUSEVA

Department of Otorhinolaryngology, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia, 117997; L.I. Sverzhetskiy Research Institute of Clinical Otorhinolaryngology, Moscow Health Department, Moscow, Russia, 117152; Scientific Laboratory of Experimental Pathology, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia 129090

**Aim.** The objective of the present work was to elucidate the characteristics of broad-band tympanometry in the healthy subjects with the unaffected hearing ability. The study involved 54 volunteers (27 men and 27 women) at the age from 21 to 55 years exhibiting no pathologic changes in the ear system as confirmed by the tone threshold audiometry, otoacoustic emission, tympanometry at a frequency of 226 Hz, and reflexometry. All the participants of the study underwent absorbance measurements by broad-band tympanometry within the frequency range from 226 to 8,000 Hz at an ambient pressure. Five parameters have been detected which reflected the major characteristics of the absorbance curve, such as the maximum sound power absorbance ratio; the frequency at which the ear structures absorbed the maximum sound power; the frequency at which the absorbance ratio bounces off the plateau; the frequency at which the absorbance ratio plummets to plateau; and the frequency range within which the absorbance ratio underwent the most pronounced changes. The results obtained in the present study give evidence of response stability and the absence of the statistically significant differences in the absorbance parameters between the men and women obtained by their analysis for the ipsilateral and contralateral ears.

**Keywords:** broad-band tympanometry, absorbance.

В практической работе оториноларинголога все большее место занимает инструментальная диагностика, и это не случайно, так как ранняя точная диагностика топичи патологических изменений обеспечивает раннюю и адекватную лечебную тактику [1, 2].

Слуховая система человека состоит из нескольких взаимосвязанных отделов, и дифференциальная диагностика требует от специалиста не только глубокого понимания

анатомио-физиологических особенностей этих структур, но и владения современными как рутинными, так и инновационными методами функциональной и топической диагностики [1, 3, 4]. Существовавшие к началу XX века методы дифференцирования изменений в звукопроводящей и звуковоспринимающей системах уха были недостаточны и ограничивали практическую деятельность врача. Впервые в 1938 г. немецкий врач О. Metz [5] изучил возможности объ-

ективной оценки механоакустики барабанной перепонки и среднего уха с привлечением метода измерения акустического сопротивления его структур, что положило начало внедрению метода импедансометрии в клиническую практику. Метод акустической импедансометрии позволяет оценивать не только статическое состояние системы уха, как это позволяют рентгенография, компьютерная и магнитно-резонансная томографии, но и ее динамически изменяемые характеристики, участвующие в передаче звуковой волны, что обусловило его широкое распространение за последние десятилетия в клинической аудиологии [6, 7].

Как метод функциональной диагностики, акустическая импедансометрия занимает сегодня важное место в дифференциации топике поражения. Акустический импеданс (АИ) в аудиологии — это суммарное сопротивление, которое оказывают структуры наружного, среднего и частично внутреннего уха при прохождении звуковой волны к рецепторам улитки. Выражается АИ в Па·с/м, т.е. величиной удельного сопротивления канала, в котором объемная скорость в  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  создается звуковым давлением в  $1 \text{ Па}$ . АИ измеряется в акустических *омах* (*ohm*) или *миллиомах* (*mohm*) [4, 8]. В современных технических решениях для измерения динамических свойств структур уха учитывается не сопротивление, а легкость прохождения звуковой волны через структурную систему уха, т.е. величина, обратная АИ — акустический адмиттанс, выраженный в обратной *омах* (*ohm*) величине *мо* (*mho*). В большинстве коммерческих приборов в качестве тестового используется низкочастотный зондирующий тон частотой 226 Гц, изменение характеристик которого измеряется при колебательных движениях механических структур уха. Частота 226 Гц была выбрана из-за простоты исчисления, так как на этой частоте значение импеданса численно равно объему воздуха в замкнутой полости. Однако анатомические особенности строения уха у новорожденных детей, а также целый ряд патологических изменений в ухе у взрослых требуют расширения возможностей традиционного метода, а также внедрения иных компонентов в оценку проведения звуковой энергии, что и реализовалось в новом объективном методе — широкополосной импедансометрии [9—11].

Широкополосная импедансометрия позволяет регистрировать динамическую и статическую податливость структур уха, проводить регистрацию акустического рефлекса стремной мышцы, определение резонансной частоты, добавляя новые полезные расширения для однокомпонентной низкочастотной тимпанометрии. Метод позволяет использовать зондирующие тоны на частоте 200—8000 Гц, что способствует совершенствованию дифференциальной диагностики состояния структур уха. Кроме того, вычисление инновационной составляющей — широкополосной величины поглощения (абсорбанс), а также противоположной ей величины отражения в широком диапазоне частот звуковой энергии (рефлектанс) обеспечивает объективные данные о микромеханике структур уха [4, 12—13] (рис. 1).

В данной работе мы рассматриваем величину поглощения звуковой энергии (абсорбанс). Эта величина характеризуется как частичное поглощение структурами уха поступившей звуковой энергии. Энергия, поступившая в наружный слуховой проход, как известно, частично проводится к внутреннему уху, частично поглощается структурами уха, а частично отражается. Если поступившая энергия отразилась полностью, то данный показатель равен нулю (0%), если поступившая энергия полностью поглотилась, то данный параметр будет равен 1 (100%). Показатель поглощения звуковой энергии в широком диапазоне частот может оцениваться как при пиковом давлении при проведении динамического исследования, так и при давлении окружающей среды, т.е. в статическом режиме, что имеет определенную клиническую значимость при оценке структур среднего уха в ранние сроки после хирургических вмешательств на ухе и при наличии перфорации барабанной перепонки [14].

Анализ изменения поглощения звуковой энергии в широком диапазоне частот требует дополнительного исследования для внедрения в клиническую практику, так как работ по изучению характеристик широкополосных измерений как в норме, так и при патологии в настоящее время недостаточно, а результаты малочисленны, вариabельны и дискуссионны в различных гендерных и нацио-

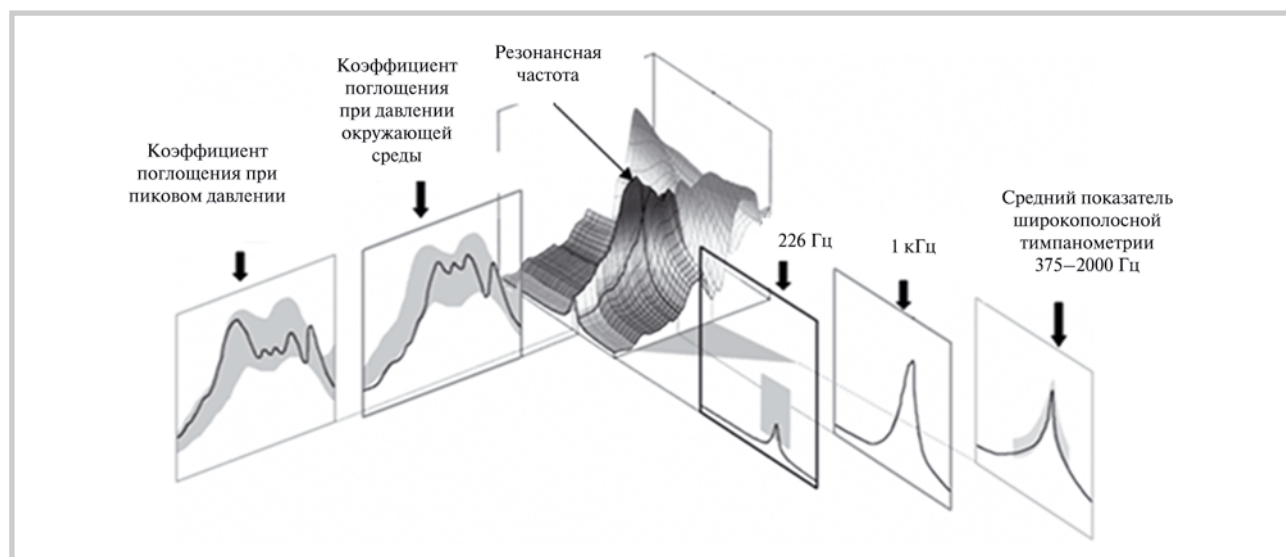


Рис. 1. Трехмерный график широкополосной импедансометрии.



Рис. 2. Схема типичного результата измерения широкополосной величины поглощения звуковой энергии структурами уха.

1 —  $K_{\max}$ ; 2 —  $f_{\text{int}_{\max}}$ ; 3 —  $f_{\min}$ ; 4 —  $f_{\max}$ ; 5 —  $\Delta f$  (объяснение в тексте).

нальных группах [6–11, 14, 15]. Все вышеизложенное определяет актуальность изучения данной проблемы.

Цель исследования — изучение показателей широкополосной тимпанометрии у здоровых добровольцев.

### Пациенты и методы

В исследование были включены 54 добровольца от 21 года до 55 лет мужского и женского пола (27 мужчин и 27 женщин), которые по данным анамнеза не имели патологических изменений со стороны слуховой системы и хирургических вмешательств на ухе. Всем включенным в исследование добровольцам проводился полный осмотр ЛОР-органов, отомикроскопия, которые не выявили патологических изменений. По результатам отоскопии из слухового прохода удалялась сера и волосяной покров при их обнаружении.

Всем пациентам выполняли камертональные тесты (Вебера и Ринне), тональную пороговую аудиометрию, регистрацию отоакустической эмиссии, тимпанометрию на частоте 226 Гц, рефлексометрию, а также широкополосную тимпанометрию. Все акустические измерения проводились в звуконепропускаемой камере с уровнем допустимого шума в соответствии с ANSI. Тональная пороговая аудиометрия выполнена на приборе GSI 61 (США), клиническая версия. Регистрацию отоакустической эмиссии, тимпанометрию и рефлексометрию проводили на приборе Titan («Interacoustics», Дания).

Все участники имели пороги слышимости, по данным тональной пороговой аудиометрии, до 15 дБ в диапазоне от 125 до 8000 Гц. При тимпанометрии с использованием стандартной частоты зондирующего тона в 226 Гц определялась тимпанограмма типа А, признаков дисфункции слуховой трубы не было. При регистрации отоакустической эмиссии (ЗВОАЭ, ПИОАЭ) ответ на всем диапазоне частот (2000–5000 кГц) получен у всех включенных в исследование добровольцев. Акустические реф-

лексы зарегистрированы у всех обследованных в границе нормальных значений на частоте 500–2000 Гц.

Для получения широкополосного показателя абсорбанса был использован прибор Titan клинической версии («Interacoustics», Дания) с программой OtoAccess ver. 1.2.1 («Interacoustics», Дания). Перед началом измерений прибор был калиброван в соответствии с рекомендацией производителя. Широкополосные измерения абсорбанса осуществлялись в диапазоне частот от 226 до 8000 Гц при давлении окружающей среды, т.е. в статическом режиме, при этом вкладыш, плотно помещаемый в наружный слуховой проход, подбирался индивидуально.

Статистическая обработка данных проводилась в программе Statistica 10 (Windows 10). В связи с тем, что распределение данных не соответствовало нормальному закону, они представлялись в виде медианы (Me) и перцентилей (25%; 75%) и для дальнейшего анализа использовался непараметрический критерий Манна–Уитни. Статистически значимыми считались отличия при  $p < 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

У всех добровольцев были зарегистрированы графики широкополосного поглощения звуковой энергии как для левого, так и для правого уха. На рис. 2 в качестве примера представлена схема графика поглощения звуковой энергии в широком диапазоне частот.

Мы использовали 5 параметров, отражающих основные характеристики кривой абсорбанса:

1.  $K_{\max}$  — максимальный коэффициент поглощения звуковой энергии (волны), изменяется в диапазоне от 0 до 100%;

2.  $f_{\text{int}_{\max}}$  — частота, на которой происходит максимальное поглощение звуковой энергии структурами уха;

3.  $f_{\min}$  — частота, на которой происходит резкое повышение коэффициента поглощения от плато (точка перегиба);

## Основные параметры широкополосной величины поглощения структур уха у лиц с нормальным слухом

Параметр	Мужчины		Женщины	
	правое ухо, Me (25; 75)%, n=27	левое ухо, Me (25; 75)%, n=27	правое ухо, Me (25; 75)%, n=27	левое ухо, Me (25; 75)%, n=27
$K_{max}$ , %	0,908 (0,838; 0,946)	0,923 (0,859; 0,867)	0,903 (0,869; 0,941)	0,938 (0,893; 0,978)
$f_{int_{max}}$ , Гц	2244,9 (1681,8; 2519,8)	2000 (1498,3; 2519,8)	1887,75 (1259,92; 2747,91)	2118,93 (1542,21; 2519,84)
$f_{min}$ , Гц	385,55 (385,55; 408,48)	408,48 (385,55; 458,5)	385,55 (343,49; 408,48)	385,55 (363,91; 432,77)
$f_{max}$ , Гц	4489,85 (4237,85; 4621,41)	4489,85 (4237,85; 4756,83)	4490 (4238; 4896)	4489,85 (4362,03; 5039,68)
$\Delta f$ , Гц	3976,5 (3829,4; 4257,5)	4081,37 (3913,64; 4256,83)	4146,36 (3805,08; 4487,73)	4104,3 (3903,53; 4631,2)

4.  $f_{max}$  — частота, на которой происходят резкое снижение коэффициента поглощения и переход к плато (точка перегиба);

5.  $\Delta f$  — частотный диапазон, на котором активно менялась величина поглощения.

В таблице приведены данные 5 вышеуказанных параметров мужчин и женщин исследуемой возрастной группы для левого и правого ушей.

Полученные результаты демонстрируют отсутствие статистически достоверной разницы в основных параметрах широкополосной величины абсорбанса у лиц с нормальным слухом в исследуемой возрастной категории. Нами не выявлено различий между левым и правым ухом у мужчин и женщин. Кроме того, не получено статистически значимых отличий исследуемых параметров в возрастной группе между мужчинами и женщинами при анализе как одноименного, так и разноименных ушей.

Таким образом, в возрастной категории от 21 года до 55 лет у мужчин и женщин с нормальным слухом показатели широкополосной величины поглощения структур уха продемонстрировали стабильность ответа вне зависимости от пола и стороны исследования (правая — левая).

Полученные результаты являются основой для комплексной диагностики состояния микромеханики структур уха по данным регистрации величины поглощения звуковой энергии (абсорбанса) при различных патологических изменениях в структурах височной кости. Эти данные позволят более адекватно определять необходимость и возможности санитизирующего и функционального консервативного и хирургического лечения при различных заболеваниях уха.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Пальчун В.Т., Крюков А.И., Магомедов М.М. Медицинские стандарты амбулаторно-поликлинической и стационарной помощи в оториноларингологии. *Вестник оториноларингологии*. 2005;3:4-9. [Pal'chun VT, Kryukov AI, Magomedov MM. Medical standards of out- and inpatient care in otorhinolaryngology. *Vestnik otorinolaringologii*. 2005;3:4-9. (In Russ.)].
2. Мельников О.А., Боклин А.К. Работа оториноларингологического отделения в современных экономических условиях. *Российская ринология*. 2009;17(2):133-134. [Mel'nikov OA, Boklin AK. The work of the otorhinolaryngological department in the current economic conditions. *Rossiiskaya rinologiya*. 2009;17(2):133-134. (In Russ.)].
3. Крюков А.И., Кунельская Н.Л., Кулагина М.И. Возрастные особенности исследования слуха у детей. *РМЖ*. 2011;19(6):386-389. [Kryukov AI, Kunel'skaya NL, Kulagina MI. Age features of hearing research in children. *RMZh*. 2011;19(6):386-389. (In Russ.)].
4. Таварткиладзе Г.А. *Руководство по клинической аудиологии*. М.: Медицина; 2013. Tavartkiladze GA. *Rukovodstvo po klinicheskoy audiologii*. M.: Meditsina; 2013. (In Russ.)].
5. Metz O. The acoustic impedance measured on normal and pathological ears. *J Acta Otol*. 1946;63:1-254.
6. Hunter LL, Navid S. *Acoustic Immitance Measures. Basic and Advanced Practice*. CA: Plural Publishing; 2014.
7. Таварткиладзе Г.А. *Акустическая импедансометрия*. В кн.: *Оториноларингология*. Национальное руководство. Гл. редактор Пальчун В.Т. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2009. [Tavartkiladze GA. *Akusticheskaya impedansometriya*. V kn.: *Otorinolaringologiya*. Natsional'noe rukovodstvo. Gl. redaktor Pal'chun .T. M.: GEO-TAR-Media; 2009. (In Russ.)].
8. Gelfand SA. *Essentials of Audiology*. 3rd ed. Stuttgart (NY): Thieme; 2009. <https://doi.org/10.1017/S0022215109991484>
9. Сапожников Я.М., Минасян В.С., Мхитарян А.С. Современные возможности оториноларингологии в диагностике тугоухости при остром среднем отите у грудных детей и детей раннего возраста. *Вестник оториноларингологии*. 2011;6:16-19. [Sapozhnikov YaM, Minasian VS, Mkhitarian AS. Current potential of otorhinolaryngology for diagnostics of hearing impairment in breastfeeding and young children presenting with otitis media. *Vestnik otorinolaringologii*. 2011;6:16-19. (In Russ.)].
10. Hunter LL, Tubaugh L, Jackson A, Propes S. Wideband middle ear power measurement in infants and children. *J Am Acad. Audiol*. 2008;19:309-324. <https://doi.org/10.3766/jaaa.19.4.4>
11. Еловиков А.М., Лиленко С.В. Показатели акустической импедансометрии при отосклерозе. *Российская оториноларингология*. 2011;6:40-44. [Elovikov AM, Lilenko SV. Indicator of the acoustic impedancemetry in otosclerosis patients. *Rossijskaja otorinolaringologija*. 2011;6:40-44. (In Russ.)].
12. Jerger J. Impedance Audiometry-Reply. *J Arch Otolaryngol*. 1971;93(3):339-340. <https://doi.org/10.1001/archotol.1971.00770060476024>
13. Liden G, Harford E, Hallen O. Tympanometry for the diagnostic of ossicular disruption. *Arch Otolaryngol*. 1974;99:23-29. <https://doi.org/10.1001/archotol.1974.00780030027005>
14. Feeny MP, Sanford CA. Age effects in the human middle ear: Wideband acoustical measures. *J Acoust Soc Am*. 2005;116(6):3546-3558. <https://doi.org/10.1121/1.1808221>
15. Feeny MP, Stover B, Keefe DH, Garinis AC, Day JE., Seixas N. Sources of variability in wideband energy reflectance measurements in adults. *J Am Acad Audiol*. 2014;25(5):449-461. <https://doi.org/10.3766/jaaa.25.5.4>

Поступила 13.09.17