

Возможности широкополосной тимпанометрии в дифференциальной диагностике некоторых форм тугоухости

Я. М. Сапожников¹, Н. А. Дайхес¹, А. С. Мачалов¹, В. Л. Карпов¹, Д. М. Канафьев¹

¹ Научно-клинический центр оториноларингологии,

Москва, 123182, Россия

(Директор – член-корр. РАН, проф., докт. мед. наук Н. А. Дайхес)

The opportunities of broadband tympanometry in differential diagnostics of certain forms of hearing loss

Ya. M. Sapozhnikov¹, N. A. Daikhes¹, A. S. Machalov¹, V. L. Karpov¹, D. M. Kanaf'ev¹

¹ Scientific and Clinical Center of Otorhinolaryngology,

Moscow, 123182, Russia

В практической деятельности врача-оториноларинголога, оториноларинголога-сурдолога в настоящее время одним из основных методов диагностики состояния слухового анализатора у взрослых и детей является акустическая импедансометрия, представленная различными способами анализа состояния структур наружного и среднего уха: изменение частоты зондирующего тона, тесты оценки функции слуховой трубы. Однако один и тот же тип тимпанометрической кривой может характеризовать несколько патологических состояний, не всегда данный тип укладывается в имеющуюся классификацию, предложенную Джергером в 1970 году, что приводит к снижению диагностической ценности данного метода обследования слухового анализатора, а иногда приводит к постановке ошибочного диагноза. А также классический вариант проведения тимпанометрического исследования состояния среднего уха, преимущественно на частоте зондирующего тона 226 и 1000 Гц имеет большое число ограничивающих факторов, особенно на первом году жизни ребенка. Все это затрудняет диагностику нарушения слуха и приводит к искажению результатов и, как следствие, к неверному лечению, установлению группы инвалидности и т. д. Особое внимание уделяется детской практике, так как данная категория пациентов является наиболее сложной. При этом необходимо отметить, что раннее реабилитационное вмешательство, его качество и дальнейший контроль крайне важны для обучения речевым навыкам и дальнейшей интеграции в общество.

Ключевые слова: широкополосная тимпанометрия, абсорбанс (поглощение), дифференциальная диагностика, нарушение слуха.

Для цитирования: Сапожников Я. М., Дайхес Н. А., Мачалов А. С., Карпов В. Л., Канафьев Д. М. Возможности широкополосной тимпанометрии в дифференциальной диагностике некоторых форм тугоухости. *Российская оториноларингология*. 2019;18(6):59–65. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2019-6-59-65>

Today acoustic impedansometry is one of the main methods of diagnostics of the state of acoustic analyzer both in adults and in children, it is represented by various techniques of analysis of external and middle ear structures: the change of sounding tone frequency, the tests of auditory tube function. However, the same type of tympanometric curve may describe several pathological conditions, sometimes this type does not fall under the existing classification suggested by Jerger in 1970, which results in low diagnostic value of this acoustic analyzer examination method and sometimes even causes misdiagnosis. Besides, the classical variant of tympanometric examination, predominantly at the sounding tone frequency of 226 and 1000 Hz, has a great number of limiting factors, especially during the first year of the child's life. All these factors complicate hearing disorders diagnostics and results in the distortion of the results and, subsequently, incorrect treatment, establishment of disability group, etc. Special attention is paid to children's practice as this category of patients is the most difficult. It should be noted that early rehabilitation intervention, its quality, and further control are extremely important for speech skills training and further integration into society.

Keywords: broadband tympanometry, absorption, differential diagnostics, hearing loss.

For citation: Sapozhnikov Ya. M., Daikhes N. A., Machalov A. S., Karpov V. L., Kanaf'ev D. M. The opportunities of broadband tympanometry in differential diagnostics of certain forms of hearing loss. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2019;18(6):59–65. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2019-6-59-65>

Акустическая импедансометрия – это комплекс клинических тестов, основанных на измерении импеданса среднего уха. Данный метод исследования представляет собой регистрацию акустического сопротивления (или акустической проводимости) звукопроводящего аппарата слуховой системы. Акустический импеданс складывается из величин импеданса наружного слухового прохода, барабанной перепонки и цепи слуховых косточек и частично внутреннего уха при прохождении звуковой волны к рецепторам улитки. Наибольшее значение в этом комплексе имеет сопротивление барабанной перепонки, в связи с чем акустический импеданс нередко отождествляют с импедансом барабанной перепонки [1, 2]. Тимпанометрия заключается в регистрации значений акустического сопротивления или акустической податливости при изменении давления воздуха в наружном слуховом проходе (обычно от +200 до –400 мм вод. ст. Целью исследования является регистрация признаков патологических процессов среднего уха [3, 4].

Наружный слуховой проход при проведении тимпанометрии герметично закрывается зондом с ушным вкладышем. Вкладыши могут быть различной формы и размеров для обеспечения герметичности. Зонд соединен с пневматическим блоком (воздушный насос) с помощью которого изменяется давление в наружном слуховом проходе, с генератором, подающим чистый тон в слуховой проход, с микрофоном, принимающим отраженный сигнал. В данную замкнутую полость подается зондирующий тон (чаще всего это 226 Гц). В начале теста в наружном слуховом проходе создается повышенное давление +200 мм вод. ст., затем оно снижается до –400 мм вод. ст. со скоростью 150–600 мм вод. ст. в с. Тестирование занимает от 1 до 4 с. При предъявлении высокого положительного давления в наружном слуховом проходе барабанная перепонка вдавливается в полость среднего уха, что ведет к ограничению ее подвижности и увеличивает ее натяжение (жесткость). Образуется полость, которая с акустической точки зрения состоит только из наружного слухового прохода. Большая часть энергии зондирующего тона отражается, создавая относительно высокий уровень звукового давления в полости наружного слухового прохода, что и фиксируется микрофоном. Так устанавливают эквивалентный объем наружного слухового прохода – первый показатель тимпанометрии. Далее тимпанометр измеряет изменения уровня звукового давления во время плавного понижения воздуха в наружном слуховом проходе и автоматически переводит их в единицы эквивалентного объема.

При тимпанометрии измеряется не абсолютное значение акустического импеданса; за акустический импеданс или компианс (адмитанс)

принимают показатели эквивалентного объема [5].

Кривая, отражающая зависимость податливости от давления, именуется тимпанограммой. Наибольшее распространение получила классификация тимпанограмм, предложенная Jerger [6]. Согласно этой классификации различают пять основных типов тимпанометрических кривых, обозначаемых буквами латинского алфавита.

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 [7].

Метод широкополосной тимпанометрии заключается в использовании зондирующего стимула, включающего широкий спектр частот в отличие от классической акустической импедансометрии, использующей в своей структуре одну определенную частоту [8, 9]. В связи с предъявлением большего количества частот появилась возможность проведения данного теста применительно к перфоративным отитам и другим состояниям, не позволяющим эффективное проведение стандартной тимпанометрии [10, 11]. Пример регистрации широкополосной тимпанометрии представлен на рис. 1.

Наружный слуховой проход при проведении широкополосной тимпанометрии герметично закрывается зондом с ушным вкладышем. Вкладыши могут быть различной формы и размеров для обеспечения герметичности. Зонд соединен с пневматическим блоком (воздушный насос), с помощью которого изменяется давление в наружном слуховом проходе, с генератором, подающим чистый тон в слуховой проход, с микрофоном, принимающим отраженный сигнал. В данную замкнутую полость подается зондирующий тон от 220 до 8000 Гц. В начале теста в наружном слуховом проходе создается повышенное давление +200 мм вод. ст., затем оно снижается до –600 мм вод. ст. со скоростью 150–600 мм вод. ст. в секунду. Тестирование занимает от 4 до 7 с. При предъявлении высокого положительного давления в наружном слуховом проходе барабанная перепонка вдавливается в полость среднего уха, что ведет к ограничению ее подвижности и увеличивает ее натяжение (жесткость). Образуется полость, которая с акустической точки зрения состоит только из наружного слухового прохода.

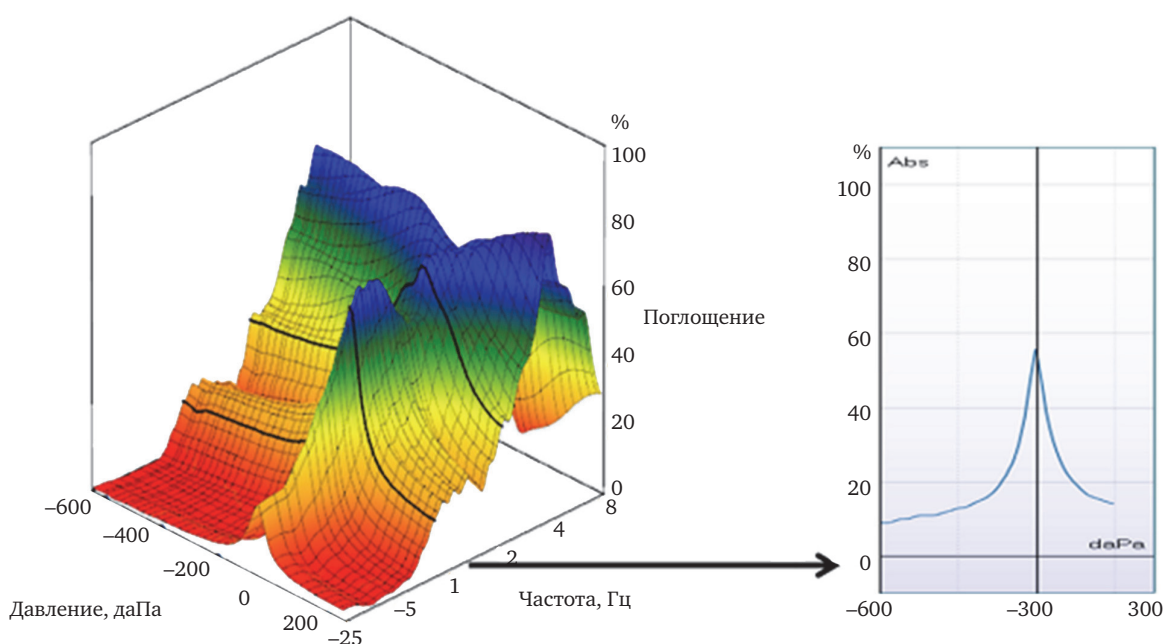


Рис. 1. Пример регистрации широкополосной тимпанометрии и тимпанометрии на частоте зондирующего тона 226 Гц.
Fig. 1. Example of registration of broadband tympanometry and tympanometry at sounding tone frequency 226 Hz.

Большая часть энергии зондирующего тона отражается, создавая относительно высокий уровень звукового давления в полости наружного звукового прохода, что и фиксируется микрофоном. Так устанавливают эквивалентный объем наружного слухового прохода – первый показатель широкополосной тимпанометрии.

Далее тимпанометр измеряет изменения уровня звукового давления во время плавного понижения воздуха в наружном слуховом проходе и автоматически переводит их в единицы эквивалентного объема. Акустическая энергия, попадающая на барабанную перепонку, частично поглощается средним ухом, а остальная часть отражается обратно в наружный слуховой проход. Отношение отраженной энергии к полной падающей мощности называют коэффициентом отражения энергии или абсорбансом. Измеряется эта величина от 0%, что указывает на отсутствие отражения до 100%, при этом отражается вся энергия. Для измерения абсорбанса используется широкополосный стимул, поступающий на постоянном уровне 55–60 дБ.

Абсорбанс – количество поглощенной структурами уха звуковой энергии – представлен на линейной шкале в диапазоне от 0 до 100. Возможность цифровой обработки широкополосного акустического поглощения (абсорбанса) явилось последним достижением в исследовании семейства акустических измерений. Внедрение широкополосных технологий в исследование состояния структур уха позволяет получить больший объем данных об особенностях проведения звуковой энергии при различных патологических состояниях.

Цель исследования

Изучение возможностей широкополосной тимпанометрии в аудиологической диагностике при некоторых формах тугоухости.

Пациенты и методы исследования

Для определения эффективности широкополосной тимпанометрии были обследованы 140 пациентов в возрасте от 18 до 45 лет (медиана возраста составила 27,3 года):

- 1) 40 пациентов (контрольная группа) с нормальным слухом (80 ушей);
- 2) 30 пациентов с кондуктивной тугоухостью (экссудативный отит) (45 ушей);
- 3) 30 пациентов с кондуктивной тугоухостью (адгезивный отит) (48 ушей);
- 4) 40 пациентов с сенсоневральной тугоухостью (40 ушей).

Использованная в исследованиях аппаратура:

- 1) клинический аудиометр AC-40 фирмы Interacoustics (Дания);
- 2) клинический анализатор среднего уха Titan фирмы Interacoustics (Дания);
- 3) цифровой видеоотоскоп WelchAllynMacroView;
- 4) многофункциональная ЛОР-установка Heinemann Modula (отомикроскопия).

После проведения тональной пороговой аудиометрии проводилась широкополосная тимпанометрия всем пациентам группы контроля, пример регистрации представлен на рис. 2.

Результаты и обсуждение

Мы провели анализ и сравнение полученных результатов классической и широкополосной

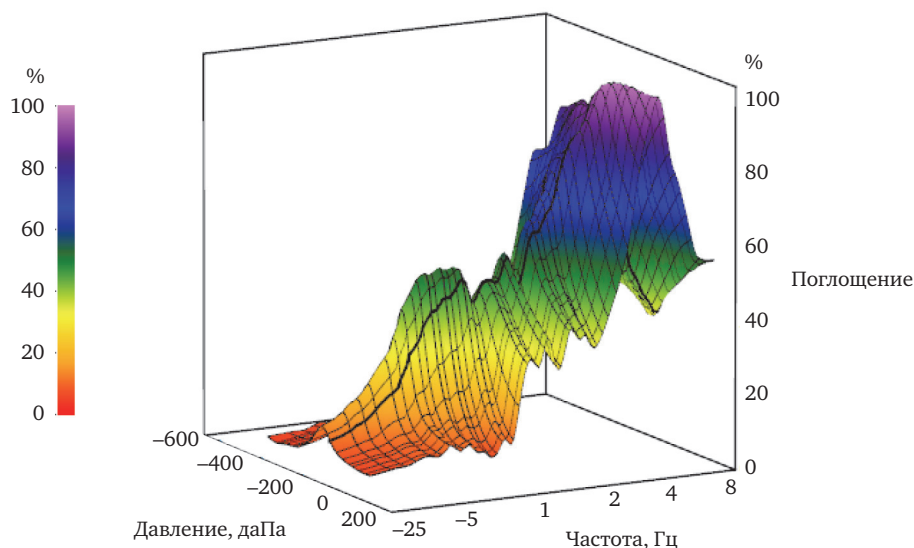


Рис. 2. Широкополосная тимпанометрия у пациента Г. 29 лет.
Fig. 2. Broadband tympanometry in a patient G., 29 years old.

тимпанометрии у пациентов с нормой слуха и значимых различий нами обнаружено не было.

Под нашим наблюдением также находились пациенты с сенсоневральной тугоухостью. Обследованы 40 пациентов (40 ушей) с двусторонней сенсоневральной тугоухостью. У всех пациентов с сенсоневральной тугоухостью по данным регистрации тимпанометрии на частоте зондирующего тона 226 Гц объем наружного слухового прохода составлял 1,34 мл (1,07–1,57 мл), и широкополосной тимпанометрии, статистических различий в данных объема наружного слухового прохода, градиента и внутрибарабанного давления в группе контроля не выявлено ($p < 0,05$). Показатели объема наружного слухового прохода, комплайнс, давление и градиент не изме-

нялись в зависимости от типа проводимой тимпанометрии, что подтверждается t-критерием Стьюдента ($p < 0,05$).

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что при сенсоневральной тугоухости широкополосная тимпанометрия не дает существенной дополнительной информации.

Для проведения анализа и выявления различий тимпанометрических данных при кондуктивной тугоухости нами были сформированы 2 подгруппы пациентов, в первую вошли пациенты с адгезивным отитом, во вторую с экссудативным отитом. Данный выбор обусловлен тем, что при проведении классической тимпанометрии при адгезивном и экссудативном отите на частоте 226 Гц регистрируется тимпанограмма типа В.

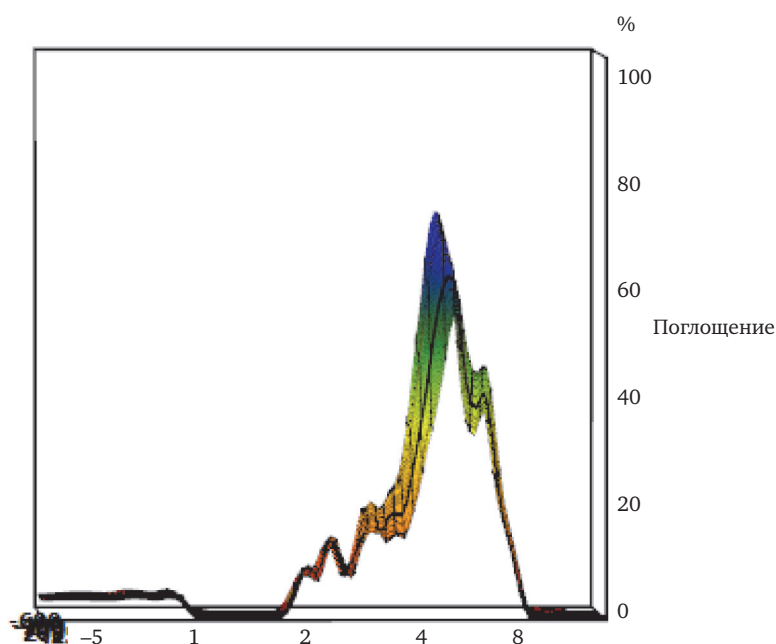


Рис. 3. Пример регистрации широкополосной тимпанометрии при экссудативном среднем отите.

Fig. 3. Example of broadband tympanometry registration at exudative otitis media.

Рис. 4. Пример регистрации тимпанометрии на частоте зондирующего тона 226 Гц при экссудативном среднем отите.

Fig. 4. Example of tympanometry registration at sounding tone frequency 226 Hz at exudative otitis media.

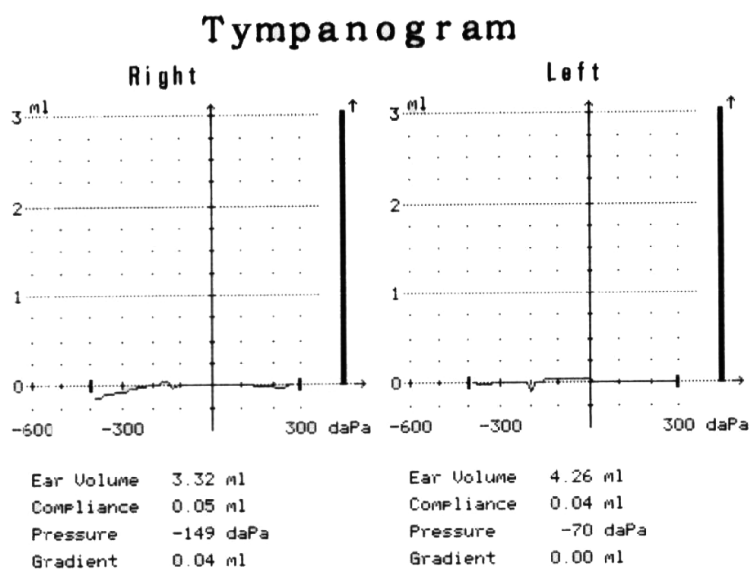


Рис. 5. Пример регистрации широкополосной тимпанометрии при адгезивном среднем отите.

Fig. 5. Example of broadband tympanometry registration at adhesive otitis media.

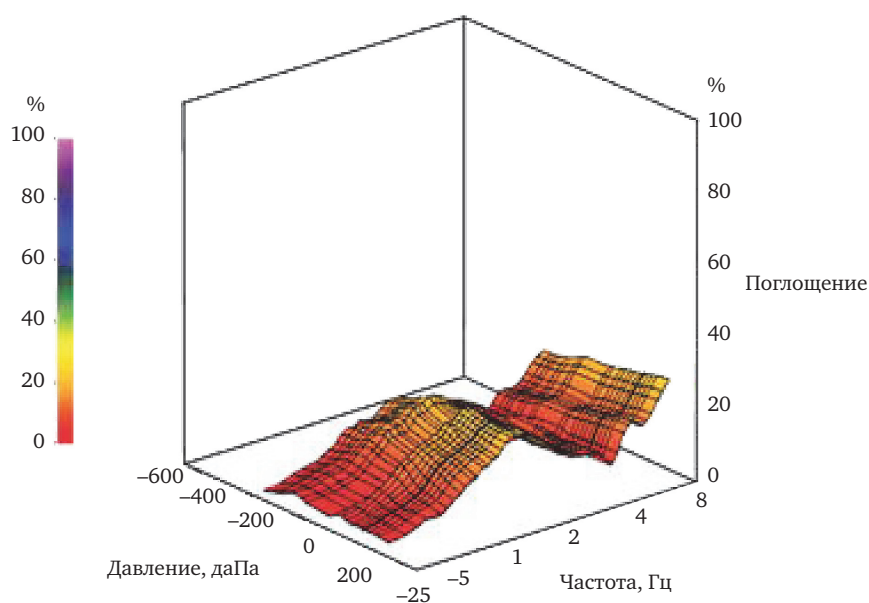
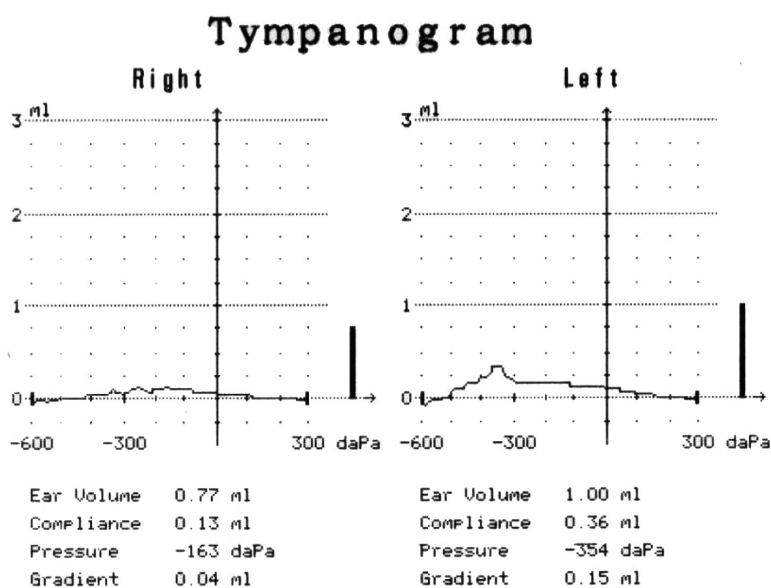


Рис. 6. Пример регистрации тимпанометрии на частоте зондирующего тона 226 Гц при адгезивном среднем отите.

Fig. 6. Example of tympanometry registration at sounding tone frequency 226 Hz at adhesive otitis media.



Для определения эффективности широкополосной тимпанометрии при данных патологиях были отобраны две равные подгруппы по 30 пациентов.

Диагнозы экссудативный и адгезивный отит были подтверждены посредством сбора анамнеза, данных отоскопической картины, отовидеоэндоскопии, отомикроскопии, камертональных проб, тональной пороговой аудиометрии, классической тимпанометрии.

В дальнейшем проводилась широкополосная тимпанометрия всем пациентам. При экссудативном среднем отите на частоте 226 Гц выявлен тип В, на широкополосной тимпанометрии выявлен пик поглощения на частоте 2500 Гц до 90%. Пример регистрации представлен на рис. 3 и 4.

При адгезивном отите на частоте 226 Гц выявлен тип В, при этом на широкополосной тимпанометрии выявлен пик поглощения до 30%. Пример регистрации представлен на рис. 5 и 6.

Как видно из рис. 3–6, при исследовании обоими видами тимпанометрии выявлены графические различия у пациентов, имеющих экссудативный средний отит; данных различий не выявлено при адгезивном среднем отите.

Таким образом, проведенные нами исследования показали, что при сенсоневральной туго-

ухости широкополосная тимпанометрия не дает существенной дополнительной информации; при адгезивном отите на классической и широкополосной тимпанометрии нет принципиальных различий; при экссудативном отите на широкополосной тимпанометрии появляется характерный пик на 2500 Гц с коэффициентом поглощения до 90%, что служит дифференциально диагностическим признаком различия адгезивного отита от экссудативного отита.

Выводы

В ходе проведения данного исследования статистически значимых различий между широкополосной тимпанометрией и классической тимпанометрией на частоте зондирующего тона 226 Гц при сенсоневральной тугоухости не выявлено.

Широкополосная тимпанометрия имеет характерные значения при экссудативных и пролиферативных процессах в полостях среднего уха и может быть использована для дифференциальной диагностики между экссудативным и адгезивным средним отитом.

Широкополосная тимпанометрия расширяет возможности аудиологической диагностики.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сапожников Я. М., Богомилский М. Р. Современные методы диагностики, лечения и коррекции тугоухости и глухоты у детей. М.: Икар, 2001. 250 с.
2. Альтман Я. А., Таваркиладзе Г. А. Руководство по аудиологии. М.: ДМК-Пресс, 2003. 360 с.
3. Болезни уха, горла, носа в детском возрасте: национальное руководство М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 736 с. <http://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970408476.html>
4. Таваркиладзе Г. А. Акустическая импедансометрия. В кн.: Оториноларингология. Национальное руководство. Гл. редактор В. Т. Пальчун. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009.
5. Таваркиладзе Г. А. Руководство по клинической аудиологии. М.: Медицина, 2013.
6. Jeger J. Clinical experience with impedance audiometry. *Arch. Otolaryng.* 1970;92;1:311–324. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00464461>
7. Пальчун В. Т., Тропская Н. С., Левина Ю. В., Ефимова С. П., Гусева А. Л. Показатели широкополосной тимпанометрии у лиц с нормальным слухом. *Вестник оториноларингологии*. 2018;1:40–43. <https://www.mediasphera.ru/issues/vestnik-otorinolaringologii/2018/1/1004246682018011040>
8. Feeney M. P., Sanford C. A. Age effects in the human middle ear: Wideband acoustical measures. *J. Acoust. Soc. Am.* 2005;116(6):354–358. <http://www.biomedsearch.com/nih/Age-effects-in-human-middle/15658706.html>
9. Feeney M. P., Stover B., Keefe D. H., Garinis A. C., Day J. E., Seixas N. Sources of variability in wideband energy reflectance measurements in adults. *J Am Acad. Audiol.* 2014;25(5):449–461. <https://www.pubfacts.com/detail/18795470/Wideband-middle-ear-power-measurement-in-infants-and-children>
10. Hunter L. L., Tubaugh L., Jackson A., Propes S. Wideband middle ear power measurement in infants and children. *J Am. Acad. Audiol.* 2008;19:309–324. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10162-016-0595-3>
11. Hunter L., Keefe D. et. al. Wideband acoustic immittance in children with Down syndrome: prediction of middle-ear dysfunction, conductive hearing loss and patent PE tubes. *International Journal of Audiology.* 2017;56:622–634. <https://nebraska.pure.elsevier.com/en/publications/wideband-acoustic-immittance-in-children-with-down-syndrome-predi>

REFERENCES

1. Sapozhnikov Ya. M. Bogomil'skii M. R. *Sovremennye metody diagnostiki, lecheniya i korrektsii tugoukhosti i glukhoty u detei*. M.: Ikar, 2001. 250 p. (in Russ.)
2. Al'tman Ya. A., Tavartkiladze G. A. *Rukovodstvo po audiologii*. M.: DMC-Press, 2003. 360 p. (in Russ.)

3. Diseases of an ear, a throat, a nose at children's age: national leaders of M.: GEOTAR-media; 2008. – 736 pages. <http://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970408476.html> (in Russ.)
4. Tavartkiladze G.A. Acoustic impedansometriya. In prince: Otorhinolaryngology. National leaders. Chapter editor Palchun V.T.M.: GEOTAR-media; 2009. <http://www.geotar.ru/lots/NF0000480.html> (in Russ.)
5. Tavartkiladze G. A. *Rukovodstvo po klinicheskoi audiologii*. M.: Meditsina, 2013 (in Russ.)
6. Jeger J. Clinical experience with impedance audiometry. *Arch. Otolaryng.* 1970;92;1:311–324. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00464461>
7. Pal'chun V. T., Trop'skaya N. S., Levina Yu. V., Efimova S. P., Guseva A. L. Indicators of the broadband tympanometry at persons with normal hearing. *Vestnik otorinolaringologii*. 2018;1:40–43. <https://www.mediasphera.ru/issues/vestnik-otorinolaringologii/2018/1/1004246682018011040> (in Russ.)
8. Feeney MP, Sanford CA. Age effects in the human middle ear: Wideband acoustical measures. *J.Acoust.Soc. Am.* 2005;116(6):354–358. <http://www.biomedsearch.com/nih/Age-effects-in-human-middle/15658706.html>
9. Feeney M. P., Stover B., Keefe D. H., Garinis A. C., Day J. E., Seixas N. Sources of variability in wideband energy reflectance measurements in adults. *J Am Acad. Audiol.* 2014;25(5):449–461. <https://www.pubfacts.com/detail/18795470/Wideband-middle-ear-power-measurement-in-infants-and-children>
10. Hunter L. L., Tubaugh L., Jackson A., Propes S. Wideband middle ear power measurement in infants and children. *J Am. Acad. Audiol.* 2008;19:309–324. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10162-016-0595-3>
11. Hunter L., Keefe D. et. al. Wideband acoustic immittance in children with Down syndrome: prediction of middle-ear dysfunction, conductive hearing loss and patent PE tubes. *International Journal of Audiology.* 2017;56:622–634. <https://nebraska.pure.elsevier.com/en/publications/wideband-acoustic-immittance-in-children-with-down-syndrome-predi>

Информация об авторах

✉ **Сапожников Яков Михайлович** – доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела аудиологии, слухопротезирования и слухоречевой реабилитации, Научно-клинический центр оториноларингологии (Россия, 123182, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, стр. 2); тел.: 8-916-526-16-60, e-mail: admin@otolar.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8421-7212>

Дайхес Николай Аркадьевич – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, директор, Научно-клинический центр оториноларингологии (Россия, 123182, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, стр. 2); тел.: +7(499)-968-69-25 e-mail: admin@otolar.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2674-4553>

Мачалов Антон Сергеевич – кандидат медицинских наук, начальник научно-клинического отдела аудиологии, слухопротезирования и слухоречевой реабилитации, Научно-клинический центр оториноларингологии (Россия, 123182, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, стр. 2); тел.: 8-964-502-98-78, e-mail: anton-machalov@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5706-7893>

Карпов Виталий Леонидович – кандидат медицинских наук, заведующий отделением сурдологии, Научно-клинический центр оториноларингологии (Россия, 123182, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, стр. 2); тел.: 8-916-440-37-10, e-mail: vital89@list.ru

Канафьев Денис Михайлович – врач-сурдолог-оториноларинголог, Республиканская клиническая больница (Россия, 420064, Республика Татарстан, г. Казань, Оренбургский тракт, д. 138); тел.: 8-917-229-02-74, e-mail: kanafyev@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9056-9369>

Information about the authors

✉ **Yakov M. Sapozhnikov** – MD, Professor, chief research associate of the Department of Audiology, Hearing Prosthetics and Hearing Rehabilitation, Scientific and Clinical Center of Otorhinolaryngology (Russia, 123182, Moscow, 30/2, Volokolamsk Shosse str.); tel.: 8-916-526-16-60, e-mail: admin@otolar.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8421-7212>

Nikolai A. Daikhes – Associate Member of the Russian Academy of Sciences, MD, Professor, Director, Scientific and Clinical Center of Otorhinolaryngology (Russia, 123182, Moscow, 30/2, Volokolamsk Shosse str.); tel.: +7(499)-968-69-25, e-mail: admin@otolar.ru <https://orcid.org/0000-0003-2674-4553>

Anton S. Machalov – MD Candidate, Head of Clinical Research Department of Audiology, Hearing Prosthetics and Hearing Rehabilitation, Scientific and Clinical Center of Otorhinolaryngology (Russia, 123182, Moscow, 30/2, Volokolamsk Shosse str.); tel.: 8-964-502-98-78, e-mail: anton-machalov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5706-7893>

Vitalii L. Karpov – MD Candidate, Head of Surdology Department, Scientific and Clinical Center of Otorhinolaryngology (Russia, 123182, Moscow, 30/2, Volokolamsk Shosse str.); tel.: 8-916-440-37-10 e-mail: vital89@list.ru

Denis M. Kanaf'ev – surdologist-otorhinolaryngologist, Republican Clinical Hospital (Russia, the Republic of Tatarstan, 420064, Kazan, 138, Orenburgskii Tract str.); tel: 8-917-229-02-74, e-mail: kanafyev@mail.ru.

<https://orcid.org/0000-0002-9056-9369>