

<https://doi.org/10.34883/PI.2024.14.2.037>
УДК 616.284-053.2:612.854-073



Мачалов А.С.¹⁻³ ✉, Канафьев Д.М.⁴, Сапожников Я.М.¹, Мареев В.В.¹, Карпов В.Л.^{1,2}

¹ Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии
Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

² Российская медицинская академия непрерывного профессионального
образования, Москва, Россия

³ Российский национальный исследовательский медицинский университет
имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия

⁴ Республиканская клиническая больница, Казань, Россия

Возрастные особенности широкополосного поглощения акустического сигнала структурами среднего уха

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования, редактирование – Мачалов А.С., Сапожников Я.М., Канафьев Д.М.;
сбор материала, обработка, написание текста – Мачалов А.С., Канафьев Д.М., Мареев В.В., Карпов В.Л.

Информированное согласие: авторы имеют подписанные информированные согласия законных представителей пациентов.

Подана: 26.12.2023

Принята: 20.02.2024

Контакты: anton-machalov@mail.ru

Резюме

Введение. Структуры наружного и среднего уха новорожденного ребенка незрелы при рождении, что отражается на остроте его слуха. Слуховая система проходит анатомическое и функциональное развитие. Период наиболее быстрого развития приходится на период от рождения до трехлетнего возраста. Изменения в процессе взросления не могут не повлиять на показатели широкополосного поглощения сигнала у детей.

Цель. Изучить показатели широкополосного поглощения сигнала у детей в процессе взросления.

Материалы и методы. Для определения разницы между широкополосным поглощением структур среднего уха в различных возрастных группах нами были обследованы 60 пациентов в возрасте от 1 года до 18 лет, не имеющих патологических изменений со стороны органа слуха. Удовлетворяющим критериям отбора пациентам проводилась широкополосная тимпанометрия с использованием прибора Interacoustics Titan клинической версии.

Результаты. На основании проведенного исследования было установлено, что чем меньше ребенок, тем меньше абсорбанс на частотах от 0,25 до 2 кГц. В то же самое время на частотах от 2 до 6 кГц широкополосное поглощение акустического сигнала у детей от 1 года до 11 лет показало одинаково высокие значения (более высокие, чем у взрослых). Показатели пациентов от 12 до 18 лет соответствовали показателям абсорбанса взрослых.

Закключение. При проведении широкополосной тимпанометрии в детском возрасте возраст пациента должен учитываться.

Ключевые слова: широкополосная тимпанометрия, абсорбанс, среднее ухо, широкополосное поглощение, слуховая система, новорожденный

Machalov A.¹⁻³ ✉, Kanaf'ev D.⁴, Sapozhnikov Ya.¹, Mareev V.¹, Karpov V.^{1,2}

¹ National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

³ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

⁴ Republican Clinical Hospital, Kazan, Russia

Age Features of Wideband Absorption of Acoustic Signal by Middle Ear Structures

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: research concept and design, editing – Machalov A., Kanaf'ev D., Sapozhnikov Ya.; material collection, processing, text writing – Machalov A., Kanaf'ev D., Mareev V., Karpov V.

Informed consent: the authors have signed informed consents from the patients' legal representatives.

Submitted: 26.12.2023

Accepted: 20.02.2024

Contacts: anton-machalov@mail.ru

Abstract

Introduction. The outer and middle ear of a newborn is immature at birth. The peripheral auditory system goes through a period of most rapid development from birth to 3 years of age. The above changes in the process of growing up cannot but affect the indicators of broadband signal absorption in children in the process of growing up.

Purpose. To study the indicators of broadband signal absorption in children as they grow up.

Materials and methods. To determine the difference between the broadband absorption of the structures of the middle ear in different age groups, 60 patients aged 1 to 18 years who did not have pathological changes in the organ of hearing were examined. Eligible patients underwent broadband tympanometry. The Interacoustics Titan clinical version was used for this measurement.

Results. The study revealed that the smaller the child, the lower the absorption at frequencies from 0.25 to 2 kHz. At the same time, at frequencies from 2 to 6 kHz, the broadband absorption of the acoustic signal in children from 1 to 11 years old showed equally high values, even higher than in adults. Patients from 12 to 18 years of age corresponded to the absorption rates of adults.

Conclusion. From all of the above, we can conclude that the age of the patient should be taken into account when conducting broadband tympanometry in childhood.

Keywords: wideband tympanometry, absorbance, middle ear, wideband absorption, auditory system, newborn

■ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все более широкое применение в клинической практике находит такой метод исследования, как широкополосная тимпанометрия. В исследовании используется зондирующий стимул, включающий широкий спектр частот, в отличие от классической акустической импедансометрии, использующей в своей структуре одну определенную частоту. Основным показателем, изучаемым при проведении данного исследования, – абсорбанс (по-другому – количество поглощенной структурой уха звуковой энергии). Измеряется он от 0 до 1, где 0 – полное отражение звуковой энергии, а 1 – это поглощение 100% энергии [1–4].

Наружное и среднее ухо новорожденного незрело при рождении. Самое активное развитие структур наружного и среднего уха приходится на период от рождения до трехлетнего возраста [5]. У новорожденного ребенка наружный слуховой проход представлен только перепончато-хрящевым отделом, а в процессе роста происходит окостенение внутренних двух третей, за счет чего увеличивается его жесткость. Помимо этого, происходит рост и в длину, что приводит к снижению резонансной частоты слухового прохода [6, 7]. Наблюдается также истончение барабанной перепонки, увеличение ее размеров и изменение наклона плоскости по отношению к стенкам наружного слухового прохода [8]. В полости среднего уха рассасывается миксоидная ткань, которая присутствовала при рождении, что ведет к уменьшению массы и импеданса среднего уха, а также увеличивается плотность слуховых косточек [7–10]. Комбинированный эффект уменьшения массы и увеличения жесткости среднего уха приводит к увеличению самой низкой резонансной частоты наружного и среднего уха с возрастом [11–13]. Вышеперечисленные изменения в процессе взросления не могут не повлиять на показатели широкополосного поглощения сигнала у детей в процессе взросления. И, соответственно, должны учитываться при расчете величины костно-воздушного интервала.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить показатели широкополосного поглощения сигнала у детей в процессе взросления.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения разницы между широкополосным поглощением структур среднего уха в различных возрастных группах были обследованы 60 пациентов в возрасте от 1 года до 18 лет.

Всем пациентам проводились:

- 1) полный оториноларингологический осмотр с применением лор-комбайна «Азимут»;
- 2) отовидеоэндоскопия с применением эндоскопической стойки «Эндомедиум»;
- 3) регистрация отоакустической эмиссии с применением 2-канального прибора «Нейро-Аудио»;
- 4) регистрация тимпаногаммы на частоте 226 Гц и/или 1000 Гц с применением анализатора среднего уха Interacoustics Titan;
- 5) широкополосная тимпанометрия с применением анализатора среднего уха Interacoustics Titan.

Критерии включения в группу:

- 1) отсутствие в анамнезе хронических заболеваний среднего уха;
- 2) отсутствие острых и обострения хронических заболеваний;
- 3) свободный наружный слуховой проход и неизменная барабанная перепонка по данным отомикроскопии;
- 4) тимпанометрия типа «А» на частоте зондирующего тона 226 Гц и/или 1000 Гц;
- 5) получение ответов при регистрации задержанной вызванной отоакустической эмиссии (ЗВОАЭ) на всем диапазоне частот (1000–4000 Гц).

Удовлетворяющим критериям отбора пациентам проводилась широкополосная тимпанометрия. Исследовались данные 60 пациентов (120 ушей). Среднее значение коэффициента отражения измерялось в диапазоне частот от 0,25 до 8 кГц. Для данного измерения был использован прибор Interacoustics Titan клинической версии с программой NOAH 4.0. Перед началом измерений прибор был калиброван в соответствии с рекомендацией производителя.

Распределение участников данного клинического исследования по полу представлено на рис. 1. В данном клиническом исследовании приняли участие 24 мальчика и 36 девочек.

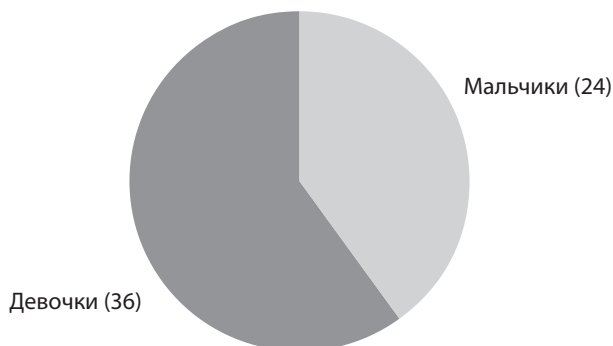


Рис. 1. Распределение участников исследования по полу
Fig. 1. Distribution of study participants by gender

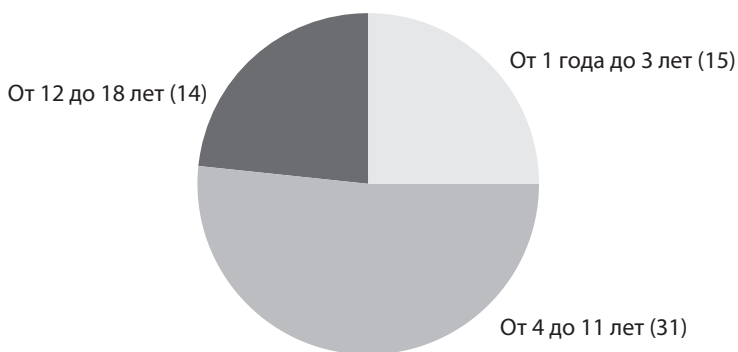


Рис. 2. Распределение участников исследования по возрасту
Fig. 2. Distribution of study participants by age

Распределение участников по возрасту представлено на рис. 2. Пациенты были распределены следующим образом: 15 пациентов от 1 года до 3 лет, 31 пациент от 4 до 11 лет и 14 пациентов от 12 до 18 лет.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

Отоскопическая картина у всех пациентов соответствовала варианту нормы (рис. 3).

При проведении полного оториноларингологического осмотра со стороны других лор-органов у пациентов также не было выявлено отклонений.

Отоакустическая эмиссия была зарегистрирована в полном объеме для левого и правого уха на всем частотном диапазоне у всех пациентов (рис. 4).

В ходе проведения данного исследования нами регистрировались сила отоакустической эмиссии (ОАЭ) и соотношение сигнал/шум (С/Ш) у всех пациентов. Результаты соотношения С/Ш у участников исследования представлены в табл. 1.

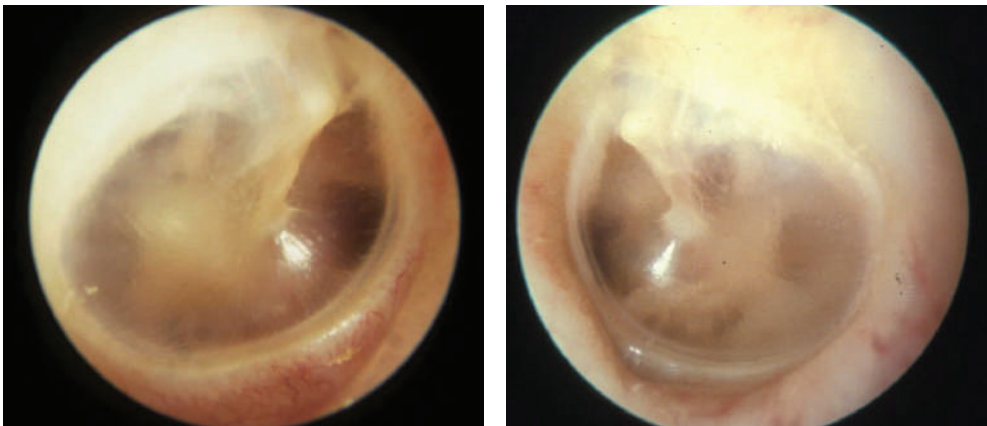


Рис. 3. Нормальная отоскопическая картина правого и левого уха
Fig. 3. Normal otoscopic picture of right and left ear



Рис. 4. Пример графика регистрации ЗВОАЭ у пациента 7 лет (правое и левое ухо)
Fig. 4. Example of a schedule for the registration of EOAE in a 7-year-old patient (right and left ear)

Таблица 1
Результаты соотношения сигнал/шум у участников исследования
Table 1
Results of the signal-to-noise ratio of the study participants

Исследуемая частота	Соотношение С/Ш, правое ухо (dB)	Соотношение С/Ш, левое ухо (dB)
1000 Гц	8,25 (6,5–10)	9 (6,8–11,2)
2000 Гц	14 (10–18)	14,75 (11,5–18)
3000 Гц	11,5 (8–15)	11,75 (7,5–16)
4000 Гц	13 (9–17)	12,6 (8,2–17)
5000 Гц	10,25 (6,5–14)	10,5 (7–14)

Проводилась регистрация тимпанограммы на частоте 226 Гц и/или 1000 Гц с применением анализатора среднего уха Interacoustics Titan. У всех пациентов была зарегистрирована с двух сторон тимпанограмма типа «А» в соответствии с классификацией Jager (рис. 5).

Результаты параметров тимпанограмм участников эксперимента представлены в табл. 2. Статистически значимых различий между правым и левом ухом не было выявлено у всех пациентов.

Регистрация широкополосной тимпанометрии проводилась также с применением анализатора среднего уха Interacoustics Titan. На рис. 6–8 представлены результаты широкополосного поглощения сигнала у участников исследования.

Нами были зарегистрированы графики широкополосного поглощения звуковой энергии у всех участников исследования для левого и для правого уха. Все они имели типичную форму с двумя пиками широкополосного поглощения, меньшим в диапазоне от 0,75 до 1,5 кГц и большим от 2,5 до 5 кГц. Анализируя данные этих графиков, мы обратили внимание на возрастные особенности.

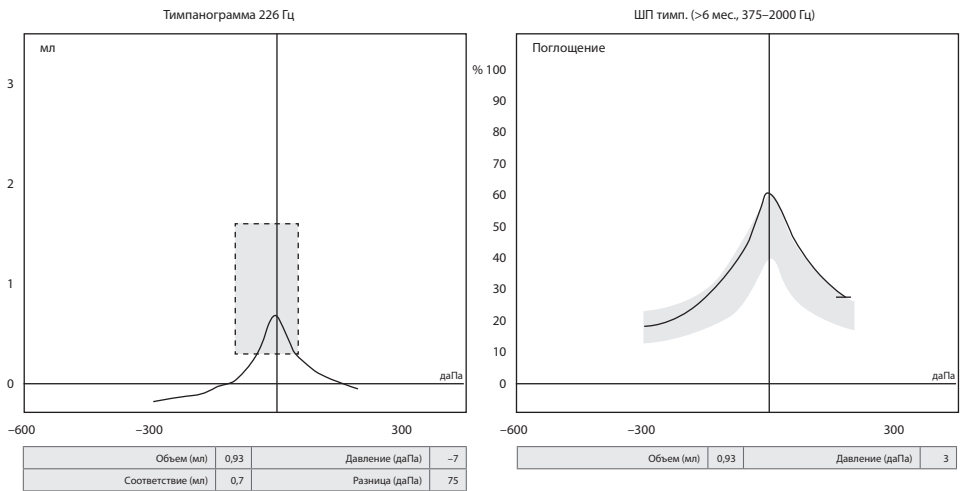


Рис. 5. Пример регистрации тимпанограммы типа «А» на частоте 226 и 1000 Гц у участника исследования Р., 5 лет
Fig. 5. Example of registration of a tympanogram of type "A" at a frequency of 226 and 1000 Hz in a study participant R. aged 5 years

Таблица 2
Результаты параметров тимпанограмм участников эксперимента
Table 2
Results of the parameters of the tympanograms of the participants of the experiment

Параметр	Правое ухо Me [25%, 75%]	Левое ухо Me [25%, 75%]	P (между правым и левым ухом)
SC	0,87 (0,73–0,98)	0,95(0,89–1,02)	0,348
MEP	–5 (–10–4)	0 (0–5)	0,389
Grad	0,57 (0,49–0,61)	0,58 (0,55–0,61)	0,176

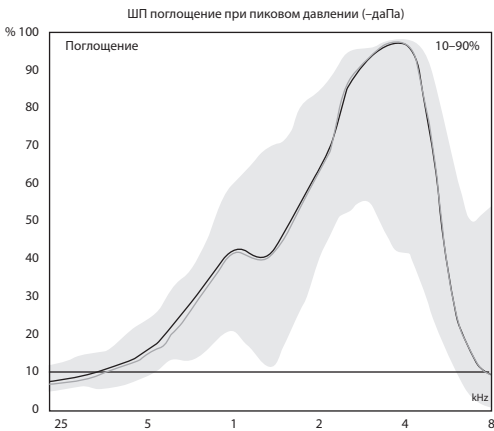


Рис. 6. Пример графика широкополосного поглощения сигнала у участника исследования С. 2 лет (правое ухо)
Fig. 6. Example of a broadband signal absorption graph for a study participant C. aged 2 years (right ear)

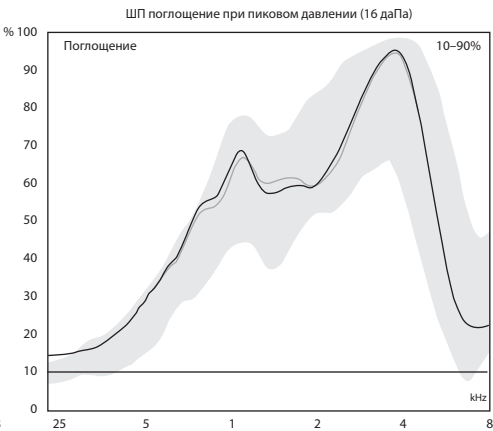


Рис. 7. Пример графика широкополосного поглощения сигнала участника исследования Д., 6 лет (левое ухо)
Fig. 7. Example of a graph of broadband signal absorption of a study participant D., 6 years old (left ear)

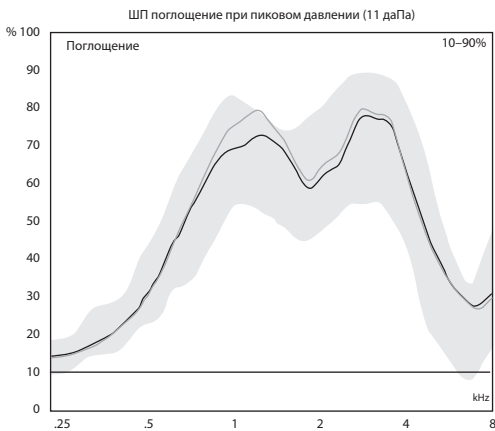


Рис. 8. Пример графика широкополосного поглощения сигнала у участника исследования Н., 16 лет (левое ухо)
Fig. 8. Example of a graph of broadband signal absorption in a study participant N., 16 years old (left ear)

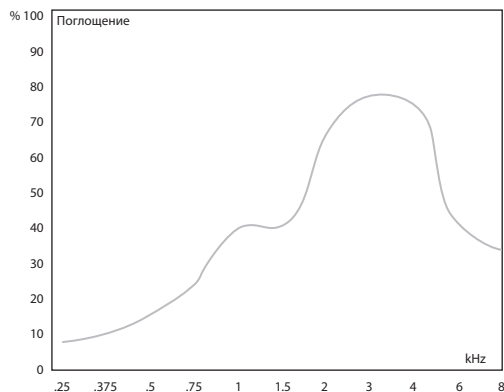


Рис. 9. График, отображающий средний процент широкополосного поглощения у детей от 1 года до 3 лет

Fig. 9. Graph showing the average percentage of broadband uptake in children from 1 to 3 years old

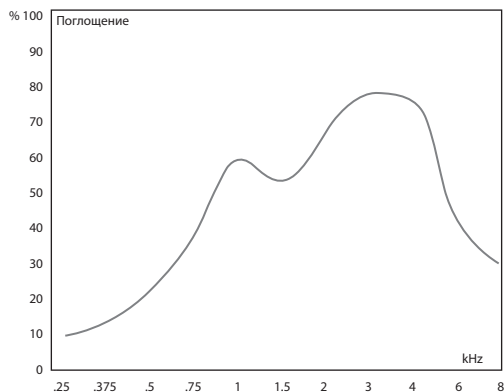


Рис. 10. График, отображающий средний процент широкополосного поглощения у детей от 4 до 11 лет

Fig. 10. Graph showing the average percentage of broadband uptake in children from 4 to 11 years old

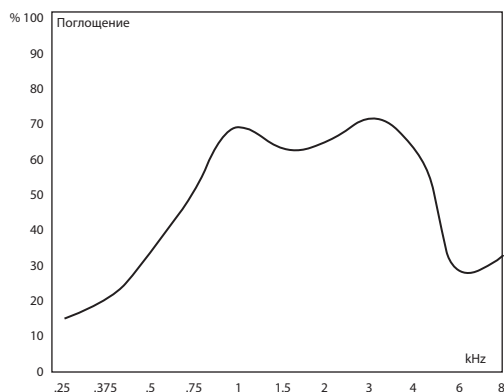


Рис. 11. График, отображающий средний процент широкополосного поглощения у детей от 12 до 18 лет

Fig. 11. Graph showing the average percentage of broadband uptake in children from 12 to 18 years old

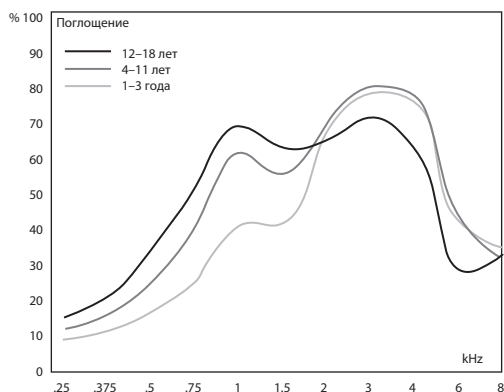


Рис. 12. Совмещенные графики среднего широкополосного поглощения пациентов различных групп, разделенных нами в зависимости от возраста

Fig. 12. Combined graphs of the average broadband absorption of patients of different groups, divided by us depending on age

Нами для наглядности графического отображения возрастных изменений все пациенты были разделены на 3 группы, по схожести графиков поглощения (абсорбанса). Первая группа была представлена 15 пациентами в возрасте от 1 года до 3 лет (рис. 9).

Во вторую группу был включен 31 ребенок в возрасте от 4 до 11 лет (рис. 10).

Третью группу составили 14 пациентов от 12 до 18 лет (рис. 11).

Для наглядности мы объединили графики среднего широкополосного поглощения при проведении широкополосной тимпанометрии в зависимости от возраста в соответствии с предложенным нами делением на группы (рис. 12).

На основании проведенного исследования нами было установлено, что абсорбанс показывал наименьшие значения на низких частотах в первых двух группах, что указывает на отражение большей части энергии от барабанной перепонки. В частности, отражательная способность для частот от 0,25 до 2 кГц у детей группы 1–3 года оказалась ниже, чем у детей 4–11 лет. Низкое поглощение можно объяснить малой площадью поперечного сечения слухового прохода и более толстой барабанной перепонкой. В то же самое время в этих 2 группах на частотах от 2 до 6 кГц широкополосное поглощение показало одинаково высокие значения, что объясняется наиболее эффективной передачей энергии в среднее ухо в этом диапазоне. Изменение абсорбанса напрямую связано с развитием наружного и среднего уха. Факторы, способствующие таким изменениям, включают рост слухового прохода (как длины, так и площади поперечного сечения), рост полостей среднего уха и резонанс стенок наружного слухового прохода. У детей после 4 лет вследствие замедления роста структур наружного и среднего уха изменения широкополосного поглощения менее выражены, графики постепенно приобретают форму, как у взрослых людей, с постепенным увеличением поглощения на низких и средних частотах и уменьшением поглощения на высоких. Поэтому вторая группа включает в себя гораздо больший диапазон возрастов, чем первая. Данные широкополосного поглощения между пациентами 3-й группы и взрослыми здоровыми людьми вообще не показали статистически значимой разницы, что свидетельствует об окончательном завершении созревания периферической слуховой системы к 12-летнему возрасту.

■ ВЫВОДЫ

1. Акустическое восприятие играет ключевую роль в коммуникации и восприятии окружающего мира. Среднее ухо является одной из основных структур, ответственных за акустическое восприятие, благодаря своей способности к поглощению широкополосного акустического сигнала. Согласно полученным нами данным широкополосное акустическое поглощение изменяется в зависимости от возраста пациента.
2. Изменение поглощения структурами среднего уха широкополосного акустического сигнала может привести к снижению качества акустического восприятия и приводить к различным нарушениям слуха, в связи с чем следует иметь четкое представление о его изменении в зависимости от возраста пациента.
3. Понимание возрастных особенностей широкополосного поглощения акустического сигнала структурами среднего уха имеет важное практическое значение. На основе этих знаний можно разрабатывать эффективные методы коррекции и профилактики нарушений акустического восприятия, а также улучшать и адаптировать различные аудиотехнические устройства для людей различных возрастных групп.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Sapozhnikov Ya., Daikhes N., Machalov A., Karpov V., Kanafiev D. Possibilities of broadband tympanometry in the differential diagnosis of some forms of hearing loss. *Russian otorhinolaryngology*. 2019;18(6):59–65. Available at: <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2019-6-59-65>. (in Russian)
2. Daikhes N., Machalov A., Kuznetsov A., Khristenko N. *Acoustic impedansometry. Textbook*. Moscow: GEOTAR-Media. 2022. 96 p. (in Russian)
3. Abdulkirimov Kh., Artyushkin S., Balyasinskaya G., et al. *Diseases of the ear, nose and throat in childhood. National Guide (2nd ed., revised and supplemented)*. Moscow, 2021. 2040 p. (in Russian)
4. Dykhes N., Guz E., Dergachev V., Pashkov A. Register of diagnosis and treatment of hearing impairment in residents of the Russian Federation. *Russian otorhinolaryngology*. 2007;3(28):18–21. (in Russian)
5. Wilson W.J. Kei, F. Zhao. *Anatomy and physiology of the outer and middle ear in young infants. Assessing Middle Ear Function in Infants*. San Diego, 2012:1–15.
6. Kruger B. An update on the external ear resonance in infants and young children. *Ear Hear*. 1987;8:333–336.
7. Daikhes N., Machalov A., Sapozhnikov Ya., Kuznetsov A., Koshel I., Karneeva O. *Hearing screening in children in the first year of life. Study guide*. 2022:30–44. (in Russian)
8. Makadma H., Aithal S., Aithal V., Kei J. Use of Wideband Acoustic Immittance in Neonates and Infants. *Semin Hear*. 2023;44(1):29–45.
9. Ugarteburu M., Withnell R.H., Cardoso L., Carriero A., Richter C.P. Mammalian middle ear mechanics: A review. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022;10:983510.
10. Olszewski J. The morphometry of the ear ossicles in humans during development. *Anat Anz*. 1990;171:187–191.
11. Motallebzadeh H., Maftoon N., Pitaro J., Funnell W.R.J., Daniel S.J. Fluid-Structure Finite-Element Modelling and Clinical Measurement of the Wideband Acoustic Input Admittance of the Newborn Ear Canal and Middle Ear. *J Assoc Res Otolaryngol*. 2017;18(5):671–686.
12. Machalov A. *Functional state of the middle and inner ear in patients with sensorineural hearing loss after cochlear implantation* (PhD thesis). Moscow, 2015;23 p. (in Russian)
13. Machalov A., Starokha A., Litvak M. On the assessment of the middle and inner ear in patients with sensorineural hearing loss after cochlear implantation. *Topical issues of otorhinolaryngology. Materials of the interregional scientific-practical conference of otorhinolaryngologists of Siberia and the Far East with international participation*. Blagoveshchensk. 2012:18–21. (in Russian)