УДК 616.281+616.28-053.36-072.7
<https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-6-42-49>

Функционирование внутреннего и среднего уха у детей первого года жизни по данным многофакторного анализа

А. Г. Матроскин¹, И. В. Рахманова¹

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, Москва, 117997, Россия

Inner and middle ear function in children of the first year of life according to multivariate analysis

A. G. Matroskin¹, I. V. Rakhmanova¹

¹ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, 117997, Russia

Данная статья посвящена оценке влияния параметров высокочастотной тимпаногаммы на отоакустическую эмиссию на частоте продукта искажения у детей первого года жизни. Материалы и методы. Всего в исследовании приняли участие 629 детей различного возраста гестации. Все дети были распределены относительно срока гестации на 4 группы. В первую группу вошли дети, рожденные на сроке до 28 недель, во вторую – 29–32 недели, в третью – 33–36 недель, а в четвертую – доношенные дети (37–40 недель). В начале исследования всем детям проводили высокочастотную тимпанометрию на частоте зондирующего тона 1000 Гц, после чего у этих же детей оценивали состояние внутреннего уха с использованием отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения. Обследование слуха проводилось всем в 3, 6 и 12 месяцев жизни. При анализе тимпаногаммы определяли ее ширину, статический комплаенс, интратимпанальное давление, индекс акустической податливости, а отоакустической эмиссии – среднюю мощность ответа улитки и амплитуду ответа улитки на частотах 1, 2, 4, 6 кГц. После определения показателей проводили многофакторный анализ с использованием методов главных компонент с варимаксным нормализованным вращением осей в факторном пространстве. Результаты. Проведенный многофакторный анализ показал, что состояние и развитие периферического отдела слухового анализатора определяется возрастом ребенка на момент обследования. Такие параметры тимпанометрии, как статический комплаенс и индекс акустической податливости имели влияние на показатели отоакустической эмиссии в группе до 28 недель, 33–36 и 37–40 недель в 12 месяцев, а в группе 29–32 недели в 6 месяцев жизни.

Ключевые слова: грудные дети, слуховая функция, отоакустическая эмиссия, тимпанометрия.

Для цитирования: Матроскин А. Г., Рахманова И. В. Функционирование внутреннего и среднего уха у детей первого года жизни по данным многофакторного анализа. *Российская оториноларингология*. 2020;19(6):42–49. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-6-42-49>

This article is devoted to the assessment of the influence of high-frequency tympanogram parameters on otoacoustic emission at the frequency of distortion product in children of the first year of life. Materials and methods: 625 children of different gestation ages participated in the study. All children were divided into 4 groups depending on the gestation age. The first group included children born before 28 weeks, the second at 29–32 weeks, the third at 33–36 weeks, and the fourth full-term babies (37–40 weeks). At the beginning of the study high frequency tympanometry at 1000 Hz was performed to all the children, after which these children's condition of the inner ear was evaluated using otoacoustic emission at the frequency of the distortion product. The hearing function of all the children was examined in 3, 6 and 12 months. Tympanogram analysis included tympanogram width, the static compliance, the intratympanic pressure, the index of acoustic compliance, the power of the snail response and the amplitude of the snail response at frequencies of 1, 2, 4 and 6 kHz. After determination of the indices, multivariate analysis was carried out using methods of main components with varimax normalized rotation of axes in factor space. Results: The carried out multivariate analysis showed that the condition and development of the peripheral section of the auditory analyzer is determined by the child's age at the time of the examination. Such parameters of tympanometry as the static composition and the index of acoustic compliance had an effect on the values of otoacoustic emission in a group aged up to 28 weeks, 33–36 weeks and 37–40 weeks at 12 months, and in the group 29–32 in 6 months of life.

Keywords: infants, acoustic function, otoacoustic emission, tympanometry.

For citation: Matroskin A. G., Rakhmanova I. V. Inner and middle ear function in children of the first year of life according to multivariate analysis. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2020;19(6):42–49. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-6-42-49>

Слуховой анализатор человека представляет сложную схему физического взаимодействия среднего, внутреннего уха, проводящих путей и центральной нервной системы, в ходе которого происходит трансформация звуковой волны в электрический сигнал [1–4].

При нормальном функционировании всех звеньев слухового анализатора анализ полученной информации происходит в полном объеме, что не скажешь о нарушении функционирования одного из звеньев.

Патологические изменения в системе звукопроводения и звуковосприятия приводят к искажению полученной информации, что в итоге приводит к развитию тугоухости, и нарушению когнитивной функции ребенка и его конечной социализации в обществе [5, 6].

Понимание работы системы слухового анализатора, и в особенности его периферического отдела, помогает определить топику поражения и разработать методы возможной профилактики тугоухости у детей.

В настоящее время общепринятыми методами оценки состояния периферического отдела слухового анализатора у детей первого года жизни являются тимпанометрия и отоакустическая эмиссия [6–9].

В мировой и отечественной литературе достаточно много работ, отражающих особенности исследования и интерпретации данных этих методов у детей первого года жизни [6, 10–14], однако недостаточно информации о наличии прямого влияния параметров тимпанограммы на значения отоакустической эмиссии. Доступная информация посвящена в основном взрослым пациентам.

Учитывая все вышесказанное, а также практическое отсутствие доступных работ по данной проблематике у доношенных и недоношенных детей первого года жизни [15], целью настоящей

работы стал поиск возможного взаимного прямого влияния параметров тимпанограммы на значения отоакустической эмиссии у этого контингента детей.

Пациенты и методы исследования

Статистический анализ параметров тимпанограмм и отоакустической эмиссии проведен по данным обследований 625 детей (1250 ушей), наблюдавшихся в КДЦ Морозовской ДГКБ в период с 2013 по 2019 г. (зав. КДЦ А. Р. Зашляхин).

Исследование носило характер проспективного продольного когортного исследования.

Все дети, принимающие участие в обследовании, были распределены на 4 группы относительно сроков гестации на момент рождения, а относительно возраста на момент обследования на 3 группы (табл. 1).

В начале исследования всем детям проводили отоскопию, риноскопию, после чего, при отсутствии воспаления и серных масс в наружном слуховом проходе, выполняли высокочастотную тимпанометрию с частотой зондирующего тона 1000 Гц и отоакустическую эмиссию на частоте продукта искажения. Для анализа параметров выбирали только DP-граммы нормально слышащих детей, а также тимпанограммы, имеющие один пик с интратимпанальным давлением в пределах – 250 + 100 daPa, а также не имеющие пика и соответствующие тимпанограмме типа В. В исследование не были включены дети с нейросенсорной или смешанной тугоухостью по данным ASSR, аудиторной нейропатией по данным исследования слуха методом слуховых вызванных потенциалов, отоакустической эмиссии, а также с острым наружным или средним отитом.

Исследования проводили с использованием анализатора среднего уха TymStar II и модульной приставки Eclips (Interacoustics, Дания).

Распределение детей, обследованных на 1-м году жизни

Таблица 1

Table 1

Distribution of children examined in the first year of life

Срок гестации, недели	Возраст ребенка на момент обследования, месяцы			Всего детей
	3	6	12	
До 28 недель	56	45	43	144
29–32 недели	59	57	57	173
33–36 недель	47	47	46	140
37–40 недель	62	58	50	168
Итого	222	207	196	625

При анализе ДР-грамм ПИОАЭ рассчитывали усредненную мощность акустического ответа улитки (среднее значение амплитуд ответов улитки) и амплитуды ответов на отдельных частотах 1, 2, 4, 6 кГц. На тимпанограмме определяли ширину тимпанограммы (ШТ) или градиент, статический COMPLAINT (СК), интратимпанальное давление (ИД) и индекс акустической податливости

(ИАП) – соотношение статического COMPLAINT и ширины (градиента) тимпанограммы [10, 15].

Далее в целях определения зависимости амплитуды ответа улитки на частотах 1, 2, 4, 6 кГц и средней мощности ответа улитки от параметров тимпанограммы (градиента, интратимпанального давления, статического COMPLAINT, индекса акустической податливости) проводили много-

Таблица 2
Факторные нагрузки и состав четырех латентных факторов, описывающих состояние слуховой функции у пациентов с гестационным возрастом от 29 до 32 недель

Table 2
Factor loads and composition of 4 latent factors describing auditory function of patients with gestational age of 29 to 32 weeks

Показатель инструментальных исследований слухового анализатора	Возраст, месяцы	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
ШТ ТГ (градиент)	3	0,55408	-0,14340	-0,23250	0,1728
ИД	3	0,34479	-0,15105	-0,08285	-0,0225
СК	3	0,51911	-0,34561	-0,01675	0,39176
Иап	3	0,53356	-0,33063	-0,02761	0,15537
1 кГц	3	0,42482	-0,31020	0,25731	-0,07274
2 кГц	3	0,80348	0,26571	-0,07554	-0,05895
4 кГц	3	0,67127	0,27746	0,07204	0,04023
6 кГц	3	0,79632	0,27202	0,08036	-0,04427
ср. МАОУ	3	0,89947	0,20988	0,11657	-0,02407
ШТ ТГ (градиент)	6	-0,16161	0,67375	0,09395	-0,16632
ИД	6	0,02889	0,04355	0,02588	0,43492
СК	6	-0,02073	0,15147	-0,06401	0,84844*
Иап	6	-0,01372	0,01937	0,01629	0,88767*
1 кГц	6	-0,10177	0,51867	-0,12309	-0,35483
2 кГц	6	0,14334	0,83035	0,09033	0,19499
4 кГц	6	0,14249	0,74846	0,02667	0,24852
6 кГц	6	0,24438	0,690392	-0,09071	0,30725
ср. МАОУ	6	0,14791	0,90903	-0,02707	0,16570
ШТ ТГ (градиент)	12	-0,034845	-0,30048	0,45250	-0,02070
ИД	12	0,01924	-0,38461	0,14582	0,12476
СК	12	-0,05299	-0,07376	0,53333	-0,24367
Иап	12	-0,08353	0,04402	0,47925	-0,18965
1 кГц	12	-0,31133	0,47603	0,20258	0,03570
2 кГц	12	0,20384	0,08456	0,76615	0,02070
4 кГц	12	-0,11219	-0,07503	0,76216	0,16564
6 кГц	12	0,06439	0,01485	0,80404	0,15784
ср. МАОУ	12	-0,04074	0,15768	0,92773	0,14762
Примечания. ШТ ТГ – ширина тимпанограммы; ИД – интратимпанальное давление; СК – статический COMPLAINT; Иап – индекс акустической податливости; ср. МАОУ – средняя мощность акустического ответа улитки.					
* Наличие факторной нагрузки.					

Таблица 3

Факторные нагрузки и состав четырех латентных факторов, описывающих состояние слуховой функции у пациентов с гестационным возрастом от 33 до 36 недель

Table 3

Factor loads and composition of 4 latent factors describing auditory function in patients with gestational age of 33 to 36 weeks

Показатель инструментальных исследований слухового анализатора	Возраст, месяцы	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
ШП ТГ (градиент)	3	0,31253	-0,15551	0,02530	0,080176
ИД	3	0,24257	0,09083	-0,19708	0,14447
Ск	3	0,30327	-0,23397	0,04861	0,64806
Иап	3	0,23681	-0,14457	0,08882	0,67211
1 кГц	3	0,50546	0,15797	0,03044	-0,03630
2 кГц	3	0,72732	0,12457	0,16151	0,17370
4 кГц	3	0,83169	-0,03624	-0,01610	0,03406
6 кГц	3	0,70418	0,02564	-0,01273	-0,09557
ср. МАОУ	3	0,87126	0,13961	0,11869	-0,00544
ШП ТГ (градиент)	6	0,13239	0,33763	0,03011	-0,06719
ИД	6	0,18151	-0,18947	0,13818	0,36422
Ск	6	0,15406	-0,34959	0,15915	-0,01994
Иап	6	0,12340	-0,40738	0,16073	0,00709
1 кГц	6	-0,03916	0,61923	0,24498	-0,14378
2 кГц	6	-0,02081	0,71896	0,13837	-0,06659
4 кГц	6	0,31746	0,75018	0,00015	0,14834
6 кГц	6	0,14131	0,73245	0,01341	0,06047
ср. МАОУ	6	0,14598	0,93385	0,10468	0,04053
ШП ТГ (градиент)	12	-0,03181	-0,01668	-0,33177	0,19380
ИД	12	0,07696	-0,16878	-0,33565	-0,24739
Ск	12	0,15721	-0,17781	0,01811	0,77774*
Иап	12	0,19601	-0,14124	0,04748	0,79227*
1 кГц	12	-0,14503	0,05021	0,51439	0,11954
2 кГц	12	-0,09256	-0,12397	0,67580	0,21326
4 кГц	12	-0,01115	-0,10394	0,83105	0,00595
6 кГц	12	0,05497	0,10760	0,75423	0,04561
ср. МАОУ	12	-0,06196	-0,00699	0,97377	-0,09184
Примечания. ШП ТГ – ширина тимпанограммы; ИД – интратимпанальное давление; Ск – статический COMPLAINT; Иап – индекс акустической податливости; ср. МАОУ – средняя мощность акустического ответа улитки.					
* Наличие факторной нагрузки					

факторный анализ, используя метод главных компонент и варимаксное нормализованное вращение осей в факторном пространстве.

Используя этот метод, мы определили, что состояние слухового анализатора описывается четырьмя скрытыми главными факторами (процент накопления дисперсии в сумме до 59%), состав которых [ШП (градиент), СК, ИАП, ср. МАОУ, ам-

плитуда ответа улитки на частотах 1, 2, 4 и 6 кГц] с вычисленными факторными нагрузками (значения граф «Фактор 1», «Фактор 2», «Фактор 3», «Фактор 4») представлен в табл. 2–4.

Учитывая, что ранее проведенное исследование выявило сопряженность показателей инструментального обследования с возрастом гестации. Анализ компонентов латентных (скрытых) фак-

Таблица 4
Факторные нагрузки и состав четырех латентных факторов, описывающих состояние слуховой функции у пациентов с гестационным возрастом от 37 до 40 недель

Table 4
Factor loads and composition of 4 latent factors describing auditory function in patients with gestational age of 37 to 40 weeks

Показатель инструментальных исследований слухового анализатора	Возраст, месяцы	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
ШР ТГ (градиент)	3	0,31253	-0,155511	0,02530	0,08017
ИД	3	0,24257	0,090832	-0,19708	0,14447
Ск	3	0,30327	-0,233973	0,04862	0,64805
Иап	3	0,23681	-0,144573	0,08882	0,67211
1 кГц	3	0,50547	0,157966	0,03044	-0,03630
2 кГц	3	0,72733	0,124572	0,16152	0,17370
4 кГц	3	0,83169	-0,036239	-0,01611	0,03406
6 кГц	3	0,70418	0,025636	-0,01272	-0,09557
ср. МАОУ	3	0,87126	0,139610	0,11868	-0,00544
ШР ТГ (градиент)	6	0,13239	0,337633	0,03010	-0,06720
ИД	6	0,18151	-0,189467	0,13818	0,36422
Ск	6	0,15406	-0,349590	0,15915	-0,01994
Иап	6	0,12340	-0,407380	0,16073	0,00709
1 кГц	6	-0,03916	0,619226	0,24499	-0,14378
2 кГц	6	-0,02081	0,718964	0,13837	-0,06659
4 кГц	6	0,31746	0,750179	0,00015	0,14834
6 кГц	6	0,14131	0,732451	0,01341	0,06047
ср. МАОУ	6	0,14598	0,933849	0,10469	0,04053
ШР ТГ (градиент)	12	-0,03181	-0,016679	-0,33177	0,19310
ИД	12	0,07696	-0,168783	-0,33565	-0,24739
Ск	12	0,15721	-0,177807	0,01811	0,77774*
Иап	12	0,19600	-0,141242	0,04748	0,79227*
1 кГц	12	-0,14503	0,050210	0,51439	0,11954
2 кГц	12	-0,09256	-0,123966	0,77580	0,21326
4 кГц	12	-0,01114	-0,103938	0,83105	0,00595
6 кГц	12	0,05497	0,107600	0,75423	0,04561
ср. МАОУ	12	-0,06196	-0,006993	0,97377	-0,09184
Примечания. ШР ТГ – ширина тимпанограммы; ИД – интратимпанальное давление; Ск – статический COMPLIANCE; Иап – индекс акустической податливости; ср. МАОУ – средняя мощность акустического ответа улитки.					
* Наличие факторной нагрузки					

торов представлен по группам, сформированным из пациентов с одинаковым возрастом гестации.

Вышеуказанный статистический анализ должен был позволить нам в полном объеме оценить степень взаимного воздействия каждого из таких факторов, как возраст ребенка, данные тимпанограммы и отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения.

Результаты исследования

На протяжении первого года жизни у детей, рожденных до 28-й недели гестации, латентные факторы обусловлены в основном возрастом.

Ближе к 12 месяцам жизни значительное влияние оказывают также статический COMPLIANCE и индекс акустической податливости.

Во второй группе пациентов, с возрастом гестации от 29 до 32 недель, структура латентных факторов оказалась похожей. Однако в этой группе значимость тимпанометрического латентного фактора была весомой уже к достижению пациентами 6-месячного возраста (табл. 2).

В третьей группе пациентов, с возрастом гестации от 33 до 36 недель, структура латентных факторов оказалась аналогичной пациентам с возрастом гестации до 28 недель, отличалась лишь значимостью эмиссии на большем спектре измеряемых частот в 3-месячном возрасте (табл. 3). Тимпанометрический фактор имел значимость к достижению возраста пациента 12 месяцев.

В группе 37–40 недель структура латентных факторов повторяла таковую, как у предыдущей группы (табл. 4). Факторы 1-4 представляли совокупность показателей, характеризующих состояние внутреннего уха, причем как и в случае детей, рожденных на сроке гестации от 33 до 36 недель, вес факторной нагрузки эмиссии на любой измеряемой частоте оказался значимым. Тимпанометрический фактор имел значимость по достижении пациентами возраста 12 месяцев.

Обсуждение

Как говорилось ранее, в мировой и отечественной литературе достаточно много работ, отражающих особенности исследования и интерпретации данных этих методов у детей первого года жизни, которые описывают влияние экссудативного среднего отита или тубоотита на прохождение теста отоакустической эмиссии, без указания конкретных данных о наличии прямого влияния определенных параметров тимпанограммы, отражающих состояние ossiculotympanicальной системы [градиента, статического комплаенса (статического адмиттанса), интратимпанального давления] на амплитуду ответа улитки при отоакустической эмиссии. Имеющиеся работы по вышеуказанной проблематике в основном отражают вопросы взрослых пациентов [8, 10–14].

Так, исследования японских ученых по определению взаимодействия параметров тимпанограммы и отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения у 226 взрослых в возрасте

от 40 до 80 лет, проведенные в 2006 г. [16], показали влияние интратимпанального давления, статического адмиттанса и резонансной частоты на отоакустическую эмиссию, а американских в 2009 г. – влияние отрицательного давления (ниже -100 daPa) на значение ПИОАЭ для высоких и низких частот, что частично соответствует нашим данным [17].

В 2018 г. Е. Л. Овчинников и соавторы в своих работах, посвященных влиянию звукопроводения на отоакустическую эмиссию (ПИОАЭ), указывали, что на генерацию микрофонных потенциалов улитки могут оказывать влияние структуры барабанной перепонки, среднего и внутреннего уха в связи с их нелинейностью, связанной с преобладанием в них упругих и вязких компонентов. Авторы работы также утверждают о наличии четкой связи между вязкоупругими свойствами среднего уха и соответствующими параметрами ПИОАЭ. Однако в этих работах нет данных о конкретных взаимодействующих параметрах и не указан возраст обследуемых [18].

Проведенный многофакторный анализ показывает, что состояние и развитие периферического отдела слухового анализатора в большей степени напрямую зависят от возраста ребенка на момент обследования.

Наличие факторной нагрузки со стороны индекса акустической податливости, а также статического комплаенса говорит о прямом влиянии адмиттанса среднего уха на объем проникающей звуковой энергии к наружным волосковым клеткам улитки, что уменьшает амплитуду ответа улитки на различных частотах.

Заключение

Факт зависимости прохождения отоакустической эмиссии от состояния среднего уха необходимо всегда учитывать при выполнении отоакустической эмиссии, в связи с чем всем недоношенным детям при первичном посещении врача поликлиники, после выписки со второго этапа выхаживания или при непрохождении первичного аудиологического скрининга необходимо, кроме проведения теста отоакустической эмиссии, проводить тимпанометрию.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Joseph E. H. Human ear Encyclopædia Britannica Encyclopædia Britannica, inc. May 17, 2020. <https://www.britannica.com/science/ear>
2. Yost W. A. Fundamentals of Hearing an introduction. 5th ed. Copyright, 2007. 338 p.
3. Таварткиладзе Г. А. Избранные лекции по клинической аудиологии. Часть 1. М.: РМАПО, 2011. 180 с.
4. Лопотко А. И., Бердникова И. П., Бобошко М. Ю., Журавлева Т. А., Журавский С. Г., Иванова Т. В., Ломоватская Л. Г., Мальцева Н. В., Молчанов А. П., Рыднина А. М., Савенко И. В., Слесаренко Н. П., Солдатов Г. Ш. Практическое руководство по сурдологии. СПб.: Диалог, 2008. 183 с.

5. Рахманова И. В., Зинкер Г. М. Организация специализированной аудиологической медицинской помощи и совместного медико-педагогического сопровождения недоношенных детей в условиях амбулаторно-поликлинической службы крупного стационара. *Вопросы современной педиатрии*. 2014;13(2):112–118. <https://cyberleninka.ru/article/n/profilaktika-invalidizatsii-nedonoshennyh-detey-v-otorinolaringologii>
6. Савенко И. В., Бобоско М. Ю. Слуховая функция детей, родившихся недоношенными. *Вестник оториноларингологии*. 2015;80(6):71–76. doi:10.17116/otorino.201580671-76
7. Рахманова И. В., Матроскин А. Г. Методы оценки состояния слуха у детей различного возраста. *Практика педиатра*. 2018;2:10–15.
8. Сапожников Я. М., Дайхес Н. А., Мачалов А. С., Карпов В. Л., Канафьев Д. М. Возможности широкополосной тимпанометрии в дифференциальной диагностики некоторых форм тугоухости. *Российская оториноларингология*. 2019;6(103):18:59–65.
9. Рахманова И. В., Дьяконова И. Н., Матроскин А. Г., Ишанова Ю. С., Зашляхин А. Р., Радциг А. Н. Динамика акустического ответа улитки у недоношенных детей первого года жизни по данным факторного анализа. *Российская оториноларингология*. 2019;5 (102): 18: 61–66.
10. Rakhmanova I. V., D'iakonova I. N., Matroskin A. G., Donin I. M. Age-related changes of the middle ear sound-conducting apparatus in preterm infants. *Otorhinology. Eastern Europe*. 2016;2(6):185–191.
11. Aithal S., Kei J., Driscoll C., Khan A., Swanston A. Wideband Absorbance Outcomes in Newborns: A Comparison With High-Frequency Tympanometry, Automated Brainstem Response, and Transient Evoked and Distortion Product Otoacoustic Emissions. *Ear Hear*. 2015;36(5):e237–e250. doi:10.1097/AUD.0000000000000175
12. Akinpelu O. V., Funnell W. R. J., Daniel S. J. High-frequency otoacoustic emissions in universal newborn hearing screening. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2019. Dec;127:109659.
13. Khaimook W., Pantuyosanyong D., Pitathawatchai P. Accuracy of otoacoustic emissions, and automated and diagnostic auditory brainstem responses, in high-risk infants. *J Laryngol Otol*. 2019. May;133(5):363–367.
14. Mazlan R., Kei J., Hickson L., Khan A., Gavranich J., Linning R. High Frequency (1000 Hz) Tympanometry Findings in newborn: Normative Data Using a Component Compensated Admittance Approach. *Australian and New Zealand Journal of Audiology*. 2009;31(1):15–23.
15. Рахманова И. В., Дьяконова И. Н., Матроскин А. Г., Корнеев Д. Ю., Хаулина Е. В. Взаимосвязь параметров вызванной отоакустической эмиссии и тимпанометрии у детей, рожденных с экстремально низкой массой тела. *Вестник оториноларингологии*. 2017;82(6):34–38.
16. Uchida Y., Fujiko Ando F., Seiichi Nakata S., Hiromi Ueda H., Tsutomu Nakashima T., Naoakira Niino N., Shimokata H. Distortion Product Otoacoustic Emissions and Tympanometric Measurements in an Adult Population-Based Study Auris Nasus. *Larynx*. 2006 Dec; 33(4):397–401. doi: 10.1016/j.anl.2006.03.002.
17. Xiao-Ming Sun, Mark D. Shaver Effects of Negative Middle Ear Pressure on Distortion Product Otoacoustic Emissions and Application of a Compensation Procedure in Humans. *Ear Hear*. 2009 Apr; 30(2):191–202. doi: 10.1097/AUD.0b013e31819769e1.
18. Овчинников Е. Л., Яшин С. С., Адыширин-Заде К. А., Владимиров Т. Ю., Минаева Т. И. Отоакустическая эмиссия на частоте продукта искажения при нарушении звукопроводения и звуковосприятия. Диагностическое обоснование эффекта. *Современные проблемы науки и образования*. 2018;4. <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=27829>

REFERENCES

1. Joseph E. H. Human ear Encyclopædia Britannica Encyclopædia Britannica, inc. May 17, 2020. <https://www.britannica.com/science/ear>
2. Yost W. A. Fundamentals of Hearing an introduction. 5th ed Copyright 2007. 338 p.
3. Tavartkiladze G. A. Izbrannye lekci po klinicheskoi audiologii. Ch. 1. M.: RMAPO, 2011. 180 p. (in Russ.)
4. Lopotko A. I., Berdnikova I. P., Boboshko M. Yu., Zhuravleva T. A., Zhuravskii S. G., Ivanova T. V., Lomovatskaya L. G., Mal'tseva N. V., Molchanov A. P., Rydnina A. M., Savenko I. V., Slesarenko N. P., Soldatova G. Sh. *Prakticheskoe rukovodstvo po surdologii*. SPb.: Dialog, 2008. 183 p. (in Russ.).
5. Rahmanova I. V., Zinker G. M. Organization of specialized audiological care and joint health – pedagogical support of preterm children in out-patient department of a large hospital. *Voprosy sovremennoi pediatrii*. 2014;13(2):112–118 (in Russ.) <https://cyberleninka.ru/article/n/profilaktika-invalidizatsii-nedonoshennyh-detey-v-otorinolaringologii>
6. Savenko I. V., Boboshko M. Yu. The hearing function in the premature infants. *Vestnik otorinolaringologii*. 2015;80(6):71–76 (in Russ.). doi:10.17116/otorino.201580671-76
7. Rakhmanova I. V., Matroskin A. G. Methods of assessing the state of hearing in children of different ages. *Praktika peditra*. 2018; 2: 10-15. (In Russ.) <https://medi.ru/pp/2018/10/15195/>
8. Sapozhnikov Ya. M., Daikhes N. A., Machalov A. S., Karpov V. L., Kanafeyev D. M. The opportunities of broadband tympanometry in differential diagnostics of certain forms of hearing loss. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2019;6:18(103):59–65. (in Russ.). doi: 10.18692/1810-4800-2019-6-59-65.
9. Rakhmanova I. V., D'yakonova I. N., Matroskin A. G., Ishanova Yu. S., Zashlyakhin A. R., Radtsig A. N. The dynamics of cochlear acoustic response of snail in premature babies of the first year of life according to the factor analysis. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2019;18(3):61–66. (in Russ.). doi: 10.18692/1810-4800-2019-5-61-66.
10. Rakhmanova I. V., D'iakonova I. N., Matroskin A. G., Donin I. M. Age-related changes of the middle ear sound-conducting apparatus in preterm infants. *Otorhinology. Eastern Europe*. 2016;2(6):185–191.
11. Aithal S., Kei J., Driscoll C., Khan A., Swanston A. Wideband Absorbance Outcomes in Newborns: A Comparison With High-Frequency Tympanometry, Automated Brainstem Response, and Transient Evoked and Distortion Product Otoacoustic Emissions. *Ear Hear*. 2015;36(5):e237–e250. doi:10.1097/AUD.0000000000000175
12. Akinpelu O. V., Funnell W. R. J., Daniel S. J. High-frequency otoacoustic emissions in universal newborn hearing screening. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2019. Dec;127:109659. doi: 10.1016/j.ijporl.2019.109659. Epub 2019 Aug 26

13. Khaimook W., Pantuyosyanyong D., Pitathawatchai P. Accuracy of otoacoustic emissions, and automated and diagnostic auditory brainstem responses, in high-risk infants. *J Laryngol Otol.* 2019. May;133(5):363–367. doi: 10.1017/S0022215119000872
14. Mazlan R., Kei J., Hickson L., Khan A., Gavranich J., Linning R. High Frequency (1000 Hz) Tympanometry Findings in newborn: Normative Data Using a Component Compensated Admittance Approach. *Australian and New Zealand Journal of Audiology.* 2009;31(1):15–23.
15. Rakhmanova I. V., D'yakonova I. N., Matroskin A. G., Korneev D. Yu., Khaulina E. V. The relationship between the parameters of evoked otoacoustical emission and tympanometry in the children born with the extremely low body weight. *Vestnik otorinolaringologii.* 2017;82(6):34–38. (in Russ.). doi: 10.17116/otorino201782634-38
16. Uchida Y., Fujiko Ando F., Seiichi Nakata S., Hiromi Ueda H., Tsutomu Nakashima T., Naoakira Niino N., Shimokata H. Distortion Product Otoacoustic Emissions and Tympanometric Measurements in an Adult Population-Based Study. *Auris Nasus. Larynx.* 2006. Dec; 33(4):397–401. doi: 10.1016/j.anl.2006.03.002.
17. Xiao-Ming Sun, Mark D. Shaver Effects of Negative Middle Ear Pressure on Distortion Product Otoacoustic Emissions and Application of a Compensation Procedure in Humans. *Ear Hear.* 2009. Apr; 30(2):191–202. doi: 10.1097/AUD.0b013e31819769e1
18. Ovchinnikov E. L., Yashin S. S., Adyshirin-Zade K. A., Vladimirova T. Yu., Minaeva T. I. Otoacoustic emission at the frequency of the distortion product in case of violation of sound conduct and sound perception. Diagnostic justification of the effect. *Modern problems of science and education.* 2018;4 (in Russ.). <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=27829>

Сведения об авторах

✉ **Матроскин Александр Геннадьевич** – кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории НИЛ клинической и экспериментальной детской оториноларингологии, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова (Россия, 117997, Москва, ул. Островитянова, д. 1); тел.: 8-963-624-69-80, e-mail: antrax@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3692-7660>

Рахманова Ирина Викторовна – доктор медицинских наук, профессор кафедры оториноларингологии педиатрического факультета, заведующий НИЛ клинической и экспериментальной детской оториноларингологии, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова (Россия, 117997, Москва, ул. Островитянова, д. 1); тел.: 8-916-966-06-54, e-mail: antrax@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3002-7660>

Information about authors

✉ **Aleksandr G. Matroskin** – PhD (Medicine), Research Officer of the Research Laboratory of Clinical and Experimental Pediatric Otorhinolaryngology, Pirogov Russian National Research Medical University (1, Ostrovityanova str., Moscow, 117997, Russia); phone 8 (963) 624-69-80, e-mail: antrax@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3692-7660>

Irina V. Rakhmanova – MD, Professor of the Chair of Otorhinolaryngology of the Faculty of Pediatrics, Head of the Research Laboratory of Clinical and Experimental Pediatric Otorhinolaryngology, Pirogov Russian National Research Medical University (1, Ostrovityanova str., Moscow, 117997, Russia); phone 8 (916) 966-06-54, e-mail: antrax@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3002-7660>