

УДК 616.288-009-053.37-072.7

DOI: 10.35693/2500-1388-2020-5-1-62-69

Методы диагностики слуховой функции у детей грудного возраста

Е.С. Савельев¹, Е.Е. Савельева¹, Г.Ш. Туфатулин^{2, 3}

Аннотация

Цель – обзорное описание субъективных и объективных методов исследования слуха, которые могут применяться в клинической практике у детей грудного возраста.

Результаты. У детей грудного возраста возможно применение как субъективных, так и объективных методов исследования функции слуха. Наиболее известными и применимыми в практике тестами являются следующие: поведенческая аудиометрия, аудиометрия с визуальным подкреплением, импедансометрия, регистрация отоакустической эмиссии и различных классов слуховых вызванных потенциалов.

Заключение. Для определения точных порогов слуха у грудных детей необходимо использование комплексного обследования слуха с применением как субъективных, так и объективных методов исследования.

Ключевые слова: диагностика слуха, тугоухость, аудиометрия, импедансометрия, отоакустическая эмиссия, слуховые вызванные потенциалы.

Конфликт интересов: не заявлен.

Для цитирования:

Савельев Е.С., Савельева Е.Е., Туфатулин Г.Ш. **Методы диагностики слуховой функции у детей грудного возраста.** Наука и инновации в медицине. 2020;5(1):62-69. doi: 10.35693/2500-1388-2019-4-4-62-69

¹ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Уфа, Россия)

²СПб ГКУЗ «Детский городской сурдологический центр» (Санкт-Петербург, Россия)

³ГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России (Санкт-Петербург, Россия)

Сведения об авторах

Савельева Е.Е. – д.м.н., доцент, заведующая кафедрой оториноларингологии. ORCID: 0000-0002-2009-8469

Савельев Е.С. – студент V курса лечебного факультета. ORCID: 0000-0002-1388-5675

Туфатулин Г.Ш. – к.м.н., главный врач, ассистент кафедры оториноларингологии. ORCID: 0000-0002-6809-7764

Автор для переписки

Савельева Елена Евгеньевна

Адрес: Башкирский государственный медицинский университет, ул. Ленина, 3, г. Уфа, Россия.

E-mail: surdolog@yandex.ru

Тел.: +7 (905) 308 14 54.

ASSR – стационарные слуховые вызванные потенциалы; Chirp-ASSR – стационарные слуховые вызванные потенциалы в ответ на Chirp-стимулы; КСВП – коротколатентные слуховые вызванные потенциалы; OAE – отоакустическая эмиссия; ABR – auditory brainstem response.

Рукопись получена: 11.01.2020

Рецензия получена: 10.02.2020

Решение о публикации принято: 11.02.2020

Diagnostic methods for determining auditory function in infants

Evgeni S. Savelyev¹, Elena E. Savelyeva¹, Gaziz Sh. Tufatulin^{2, 3}

Abstract

Objectives – an overview of the subjective and objective methods of hearing testing in infants that can be used in clinical practice.

Results. Both subjective and objective methods of hearing function testing can be used in infants. The most well-known and common in practice tests are: behavioral audiometry, visual reinforcement audiometry, impedancemetry, recording of otoacoustic emissions (OAE) and various classes of auditory evoked potentials.

Conclusion. It is necessary to conduct a comprehensive hearing examination, using both subjective and objective research methods, for the accurate detection of the hearing thresholds in infants.

Keywords: hearing diagnosis, hearing loss, audiometry, impedancemetry, otoacoustic emission, auditory evoked potentials.

Conflict of interest: nothing to disclose.

Citation

Savelyev ES., Savelyeva EE, Tufatulin GSh. **Diagnostic methods for determining auditory function in infants.** Science & Innovations in Medicine. 2020;5(1):62-69. doi: 10.35693/2500-1388-2020-5-1-62-69

¹Bashkir State Medical University (Ufa, Russia)

²Center of the Pediatric Audiology (Saint Petersburg, Russia)

³North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (Saint Petersburg, Russia)

Information about authors

Elena E. Savelyeva – PhD, Associate Professor, the Head of the Department of Otorhinolaryngology. ORCID: 0000-0002-2009-8469

Evgeni S. Savelyev – medical student. ORCID: 0000-0002-1388-5675

Gaziz Sh. Tufatulin – PhD, Chief Physician of the Center of the Pediatric Audiology, assistant of the Chair of Otorhinolaryngology. ORCID: 0000-0002-6809-7764

Corresponding Author

Elena E. Savelyeva

Address: Bashkir State Medical University, 3 Lenin st., Ufa, Russia.

E-mail: surdolog@yandex.ru

Phone: +7 (905) 308 14 54.

Received: 11.01.2020

Revision Received: 10.02.2020

Accepted: 11.02.2020

■ ВВЕДЕНИЕ

По статистическим данным Всемирной организации здравоохранения, в современном обществе снижение слуха у детей новорожденного и раннего детского возраста является самой частой проблемой сенсорной системы и встречается с частотой 1–3 случая на 1000 новорожденных [1, 2].

Судьба ребенка с врожденной тугоухостью или глухотой напрямую зависит от времени выявления тугоухости и адекватности выбранной тактики. Yoshinaga-Itana С. с соавт. продемонстрировали, что малыши, у которых тугоухость или глухота были выявлены очень рано (в возрасте до 1–3 месяцев) и которые рано начали использовать слуховые аппараты (в возрасте до 6 месяцев), в дальнейшем не отставали в речевом и интеллектуальном развитии от своих здоровых хорошо слышащих сверстников [3]. Дети, которые были слухопротезированы в более поздние сроки, в дальнейшем показывали более низкие результаты речевого и интеллектуального развития [4, 5]. В связи с этим раннее и адекватное выявление врожденной тугоухости и глухоты у детей первых месяцев жизни является актуальной задачей детской оториноларингологии и сурдологии. Скрининг новорожденных до 1 месяца, подтверждение диагноза в первые 3 месяца жизни и начало реабилитации (абилитации) в возрасте до 6 месяцев приводят к лучшему речевому развитию малыша и более ранней кохлеарной имплантации в случае глубокого снижения слуха, способствуя нормальному интеллектуальному развитию ребенка.

Работы Sharma А. [6] также показали, что дети, которые получили раннюю реабилитацию, раннее слухопротезирование и раннюю слуховую стимуляцию в грудном возрасте, имели латентности слуховых вызванных потенциалов, сходные с нормально слышащими сверстниками, чего не наблюдалось, если дети получили позднюю реабилитацию и слуховую стимуляцию. Поэтому необходимость ранней диагностики нарушенной функции слуха у детей грудного периода не вызывает сомнения. Полученные пороги слуха могут с успехом использоваться для раннего слухопротезирования и ранней слуховой стимуляции, а также для ранней реабилитации ребенка с сенсоневральной тугоухостью и глухотой. Кроме того, раннее выявление нарушений слуха и раннее слухопротезирование позволяют в оптимальные сроки определять показания к кохлеарной имплантации у детей с глубоким типом снижения слуховой функции — IV степенью тугоухости и глухотой.

Все методы исследования слуха у грудных детей можно разделить на 2 группы: субъективные, в основе которых лежит принцип реакции ребенка («как он слышит»), и объективные, основанные на регистрации электрофизиологических реакций организма, которые появляются в ответ на звук [7].

■ СУБЪЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛУХОВОЙ ФУНКЦИИ НОВОРОЖДЕННЫХ И ГРУДНЫХ ДЕТЕЙ

Для оценки слуха новорожденного используется наблюдение за реакциями малыша на различные звуки. В ответ на звук вызываются и регистрируются различные

рефлексы [8]: рефлекс Моро (движение руками и ногами в ответ на звук); кохлео-пальпебральный рефлекс (сжатие век при закрытых глазах или быстрое смыкание век при открытых глазах); дыхательный рефлекс (5–10-секундная задержка дыхания в ответ на звуковой стимул).

Madell J.R. и Flexer С. считают, что измерение слуха с использованием рефлекса Моро, ауропальпебрального рефлекса, оценки движений конечностей или изменения дыхания грудного ребенка в ответ на звуковой стимул возможно использовать в практике, однако полученные ответы не соответствуют пороговым, а находятся в надпороговой зоне [9]. По мнению авторов, эти тесты в случае небольшого снижения слуха могут не выявить тугоухость. А вот тест, основанный на изменении в акте сосания (инициализация или остановка сосания бутылочки), является весьма надежным тестом для исследования поведенческих порогов слуха у детей младше 6 месяцев.

Для адекватной оценки инициированной реакции грудного ребенка на предъявленные звуки во время акта сосания груди или бутылочки с молоком или же «пустышки» желательно записывать движения рта ребенка на видеокамеру. Перед обследованием ребенок должен быть голоден, а во время теста находиться в удобном для него положении. Авторы подтверждают, что с помощью данного метода возможно получить частотные ответы от 250 до 8000 Гц по воздуху и кости от каждого уха ребенка в возрасте до 6 месяцев [10]. Сначала ребенку предъявляют стимулы в свободном звуковом поле, а потом — через внутриушные телефоны. В качестве тестовых стимулов авторы рекомендуют применять «трелевые» тоны (Warble tones) или узкополосные шумы (Narrow bands of noise). Широкополосные стимулы, музыкальные стимулы, разговорную речь или белый шум применять не рекомендуется. Кроме того, для подтверждения порогов слуха Madell J.R. и Flexer С. советуют использовать применение частотных речевых стимулов: «ба» («ba») — соответствует 500 Гц; «ш» («sh») — 2000 Гц; «с» («s») — 3000–4000 Гц. Ответ считается адекватным, если реакция на предъявленный стимул определяется три раза. Сигналы не должны предъявляться быстро, иначе ребенок начнет игнорировать их. Если ребенок дает сильный ответ и вздрагивает в ответ на сигнал, то этот полученный ответ выше уровня порога слуха ребенка, то есть он надпороговый [9, 10]. Многие отечественные и зарубежные работы определяют необходимость применения данных субъективных тестов для определения слуха у детей грудного возраста. Безусловные рефлексы новорожденных угасают в возрасте 5 месяцев. На смену им приходят первые ориентировочные реакции. При поведенческой и наблюдательной аудиометрии наблюдают за изменением поведения ребенка в ответ на звуковые стимулы в форме: изменение мимики, поворот головы, движение глазами, изменение сосательной активности, изменение дыхания, движение руками и/или ногами [8].

Американская Ассоциация речи, языка и слуха (ASHA) считает, что проведение поведенческих тестов является трудновыполнимой задачей для определения

порога слуха у детей грудного возраста в связи с длительностью их проведения и необходимостью хорошего взаимодействия с ребенком. Кроме того, данные тесты зачастую сложно выполнить у ребенка, который не идет на контакт [11]. Несмотря на это, ASHA рекомендует методом первого выбора использовать именно поведенческие тесты у детей в возрасте старше 5 месяцев. Наиболее практическими тестами являются *поведенческая аудиометрия* (Behavioral Observation Audiometry) и *аудиометрия с визуальным подкреплением* (VRA-Visual Reinforcement Audiometry) [11]. Данная ассоциация такие тесты, как игровая аудиометрия (CPA-Conditioned Play Audiometry), рекомендует проводить детям в возрасте после 2 лет.

Несмотря на то что «золотым стандартом» исследования слуха у детей грудного возраста являются объективные методики исследования, в частности использование коротколатентных слуховых вызванных потенциалов (Auditory Brainstem Response — ABR), субъективные методы имеют очень большое практическое значение. Так, Madell J.R. и Flexer C. (2008) показали, что такие объективные тесты, как *коротколатентные слуховые вызванные потенциалы* (ABR) и *стационарные слуховые вызванные потенциалы* (ASSR), позволяют получить частотно-специфическую информацию о слухе ребенка до 6 месяцев жизни, однако полученные пороги слуха могут флюктуировать в диапазоне до ± 15 дБ [10]. Поведенческая же аудиометрия (BOA — Behavioral Observation Audiometry) помогает получать частотно-специфическую информацию об уровне слуха грудного ребенка и подтверждает данные объективных тестов. По мнению Madell J.R. с соавт., поведенческие тесты могут обеспечить непосредственное измерение уровня слуха ребенка до года. Автор указывает, что правильно выполненные поведенческие тесты, использующие адекватные критерии, включающие поведенческую аудиометрию у детей младше 6 месяцев, могут адекватно измерить пороги слуха малыша [10].

Дополнительно необходимы *анализ истории жизни и развития ребенка, анкетирование родителей и аудиологический скрининг* новорожденного для понимания этиологии и патогенеза заболевания, а также для определения дальнейшей лечебной и реабилитационной тактики [9, 12].

Другим практически значимым методом исследования слуха у грудных детей является *метод аудиометрии с визуальным подкреплением* [10, 13]. Он может использоваться у малышей старше 6 месяцев. Этот метод не является подходящим для обследования детей до 6 месяцев жизни, а также отстающих в развитии детей или детей с сопутствующей патологией. Метод основан на том, что, когда ребенок достигает возраста 6 месяцев, он может поворачивать голову в ответ на предъявляемый звук различной частоты и громкости. При проведении аудиометрии с визуальным подкреплением можно предъявлять звуки в свободном поле, через внутриушные телефоны или костный вибратор. В этом методе используется визуальное подкрепление ответов ребенка на предъявленный звуковой стимул с помощью интересной игрушки или короткого видеоклипа

на мониторе. После выработки условно-двигательного рефлекса у большинства детей данный метод позволяет определить частотный порог слуха, которым считается тот минимальный уровень стимула, на который ребенок повернул голову в сторону игрушки. В дальнейшем возможно проведение данного метода в свободном звуковом поле в подобранных слуховых аппаратах или с процессором кохлеарного импланта, что позволяет оценить эффективность слухопротезирования.

■ ОБЪЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛУХОВОЙ ФУНКЦИИ НОВОРОЖДЕННЫХ И ГРУДНЫХ ДЕТЕЙ

В современном мире появилось множество методов объективного обследования слуховой функции, благодаря чему расширились возможности оценки слуха у грудных и новорожденных детей [14, 15].

Развитие аудиологического скрининга в Российской Федерации, основанного также на объективных тестах, значительно увеличило процент выявления детей со снижением слуховой функции. Существует множество научных и исследовательских работ, связанных с вопросами и методами проведения аудиологического скрининга [14, 16, 17].

Объективными методами исследования уровня слуха новорожденных и детей грудного возраста являются *электрофизиологические методы*, которые в последнее время все более распространены в лечебных учреждениях [18].

В практической оториноларингологии и сурдологии у детей грудного возраста могут применяться следующие объективные методики исследования слухового анализатора: импедансометрия, включающая тимпанометрию и регистрацию рефлексов мышц среднего уха, регистрация различных классов отоакустической эмиссии и слуховых вызванных потенциалов.

Отоакустическая эмиссия (ОАЭ) представляет собой регистрацию звуковых колебаний, которые возникают в улитке в ответ на акустическую стимуляцию [19]. Таким образом, ОАЭ — акустический ответ, являющийся отражением нормального функционирования рецепторов внутреннего уха, представляющий слабый звук, который генерируется улиткой и регистрируется в наружном слуховом проходе при помощи чувствительного микрофона. В практической оториноларингологии используют два вида отоакустической эмиссии [20, 21, 22], регистрируют задержанную вызванную отоакустическую эмиссию — ЗВОАЭ (**рисунок 1А**) и отоакустическую эмиссию на частоте продукта искажения — Distortion Product Otoacoustic Emission — DPOAE/ОАЭПИ (**рисунок 1В**). ЗВОАЭ представляет собой несколько групп колебаний малой амплитуды и различной частоты, возникающих через 6–8 мс после начала стимула и продолжающихся в течение 20–30 мс. Для регистрации ЗВОАЭ используется зонд, через который подаются широкополосные акустические щелчки. Отоакустическая эмиссия на частоте продукта искажения (ОАЭПИ) регистрируется при спектральном анализе активности в ответ на одновременную стимуляцию двумя тональными сигналами — F1 и F2. При регистрации

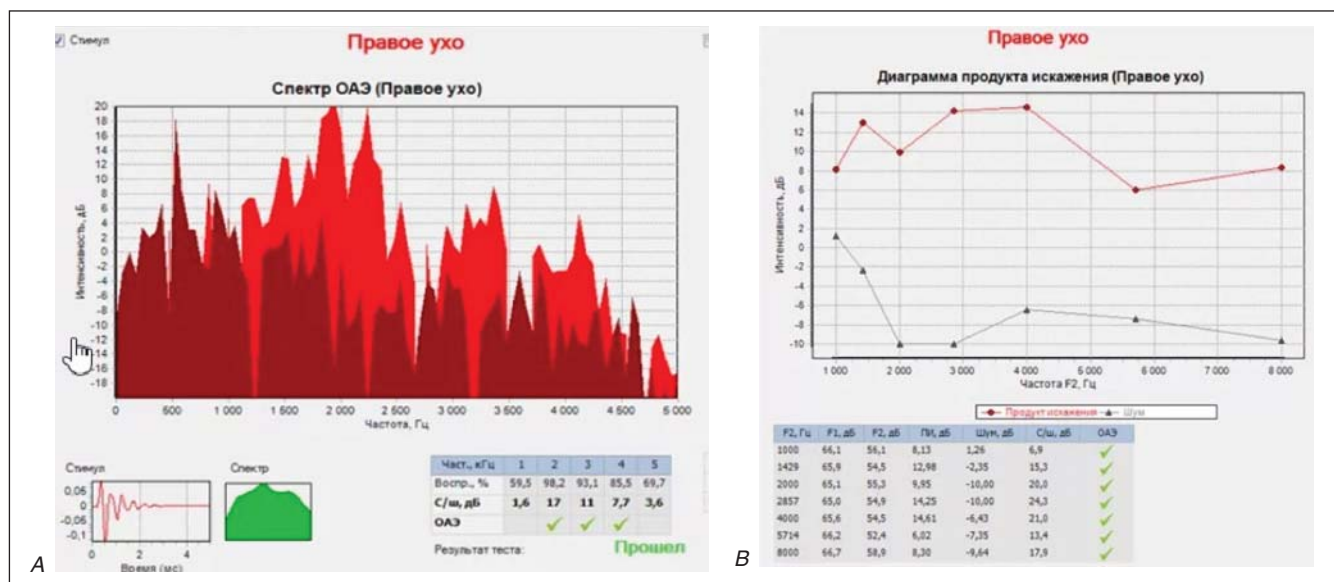


Рисунок 1. Задержанная вызванная отоакустическая эмиссия (А) и отоакустическая эмиссия на частоте продукта искажения (В).

Figure 1. Delayed evoked otoacoustic emission (A) and otoacoustic emission at the frequency of the distortion-product (B).

данного класса ОАЭ на график наносится зависимость интенсивности ОАЭ от частоты стимуляции (F2). Регистрация ПИОАЭ записывается в виде ДР-граммы (рисунок 1В). Полученный график отражает функциональное состояние наружных волосковых клеток улитки и отражает зависимость интенсивности продукта искажения от частоты стимуляции. Методика обладает высокой частотной специфичностью [19].

Метод регистрации ОАЭ прост в проведении и чувствителен к нарушениям слухового анализатора, но необходимо помнить, что внешний шум или беспокойное поведение ребенка могут привести к ложноположительным результатам. Кроме того, недостатком этих методов является их зависимость от состояния наружного и среднего уха [19, 22]. Также необходимо помнить, что методы регистрации ОАЭ отражают только состояние

волосковых клеток улитки и не выявляют нарушения слуха ретрокохлеарной этиологии.

Метод регистрации задержанной вызванной отоакустической эмиссии используется в качестве скрининга на территории РФ. По статистическим данным, у детей, не прошедших I этап аудиологического скрининга и направленных на II этап, тугоухость диагностируется в 10–15% случаев [23].

Акустическая импедансометрия — объективный метод исследования, который основан на измерении сопротивления, которое встречает звук на своем пути в среднем ухе. Метод позволяет определить патологию звукопроводящей системы среднего уха, а также помогает в выявлении различных поражений слухового анализатора [24]. Метод импедансометрии состоит из 2 тестов — тимпанометрии и акустической рефлексографии.

Тимпанометрия — определение подвижности барабанной перепонки при изменении давления воздуха в наружном слуховом проходе. Кривая, отражающая зависимость подвижности барабанной перепонки от давления, — тимпанограмма.

Этот метод не позволяет непосредственно измерить уровень слуха ребенка, однако позволяет оценить состояние среднего уха, подвижность барабанной перепонки и слуховых косточек.

Существуют различные типы тимпанометрических кривых (по J. Jerger) [25].

Тимпанограмма типа «А» характерна для здорового среднего уха. Тимпанограмма типа «В» регистрируется при неподвижной барабанной перепонке и наличии жидкости в полостях среднего уха или при выраженных рубцово-спаечных процессах в барабанной полости.

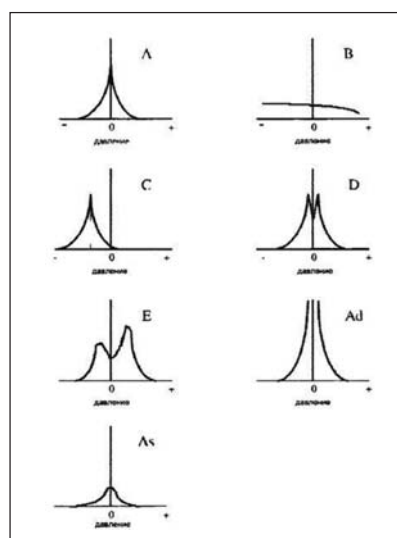


Рисунок 2. Типы тимпанометрических кривых по J. Jerger [25].

Figure 2. Types of tympanometric curves by J. Jerger [25].

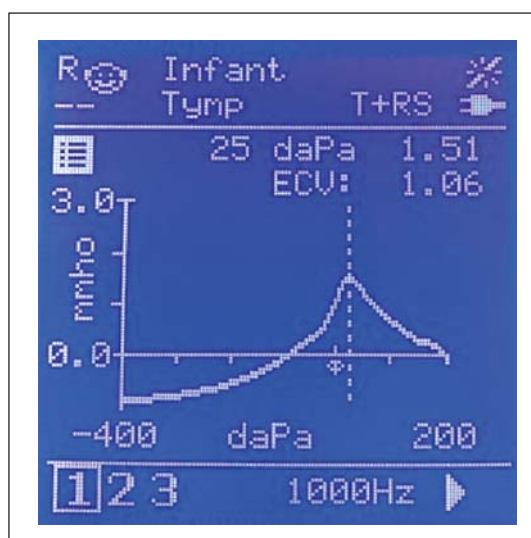


Рисунок 3. Тимпанограмма типа «А» ребенка 6 мес., зондовая частота 1000 Гц.

Figure 3. Type A tympanogram of the child 6 months old, probe frequency of 1000 Hz.



Рисунок 4. Проведение компьютерной аудиометрии (регистрация КСВП) во время физиологического сна.

Figure 4. Computer audiometry (registration of short-latency auditory evoked potentials) during physiological sleep.

Тимпанограмма типа «С» регистрируется при дисфункции слуховой трубы, при этом в среднем ухе определяется отрицательное давление. Тимпанограмма типа «D» может регистрироваться при неравномерных движениях перепонки, например, при обнаружении рубцов или атрофии барабанной перепонки. Тимпанограмма типа «As» регистрируется при тугоподвижной перепонке, например, при отосклерозе, когда происходит заращение овального окна соединительной тканью. Тимпанограммы типа «Ad», «E» могут регистрироваться при разрыве цепи слуховых косточек (**рисунок 2**).

Таким образом, тимпанометрия используется с целью исключения патологии среднего уха. Однако необходимо помнить, что тимпанограмма, зарегистрированная стандартным низкочастотным зондовым тоном (226 Гц), у детей первых месяцев жизни не является информативной и достоверной. Это объясняется в первую очередь различной анатомией строения среднего уха у детей раннего возраста и взрослых. Лучший выбор тимпанометрической зондовой частоты для детей в возрасте до 6 месяцев — это 1000 Гц [26] (**рисунок 3**).

Акустическая рефлексометрия — регистрация рефлекса мышц среднего уха. Для регистрации интенсивности рефлекса используют надпороговое значение стимула. Акустическая рефлексометрия позволяет косвенно судить о порогах слуха маленьких детей, так как при

наличии выраженной степени снижения слуха пороги рефлекса увеличиваются с последующим исчезновением.

■ ИССЛЕДОВАНИЕ СЛУХА МЕТОДОМ РЕГИСТРАЦИИ СЛУХОВЫХ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

Регистрация слуховых вызванных потенциалов является «золотым стандартом» компьютерной аудиометрии.

Метод интересен тем, что является

полностью объективным и позволяет определить порог слуха у ребенка практически с первых дней жизни. Данный метод исследования слуха у малышей нашел широкое применение в клинической практике [27, 28, 29, 30, 31, 32]. Принцип исследования основан на регистрации вызванной электрической активности слуховой системы. Наиболее практически значимыми и применяемыми тестами являются: регистрация коротколатентных слуховых вызванных потенциалов (КСВП; ABR — auditory brainstem response — слуховой ответ ствола головного мозга) и стационарных слуховых потенциалов на модулированные тоны (ASSR — Auditory Steady-State Response) [27].

Методика регистрации коротколатентных слуховых вызванных потенциалов (КСВП) — базовая в диагностике нарушений слуха у детей, на ней основан второй (диагностический) этап универсального аудиологического скрининга [28]. У детей грудного возраста компьютерная аудиометрия проводится во время физиологического сна (**рисунок 4**).

Метод регистрации слуховых вызванных потенциалов ствола мозга (КСВП) используется как для углубленного аудиологического обследования, так и в качестве скрининга (если применяется один уровень стимуляции — 40 дБ нПС).

Заболевания спектра аудиторных нейропатий (Auditory Neuropathy Spectrum Disorder — ANSD), при котором у ребенка регистрируются отоакустическая эмиссия (ОАЭ) и/или микрофонный потенциал улитки (МПУ), а коротколатентные слуховые вызванные потенциалы (КСВП) отсутствуют или значительно изменены,

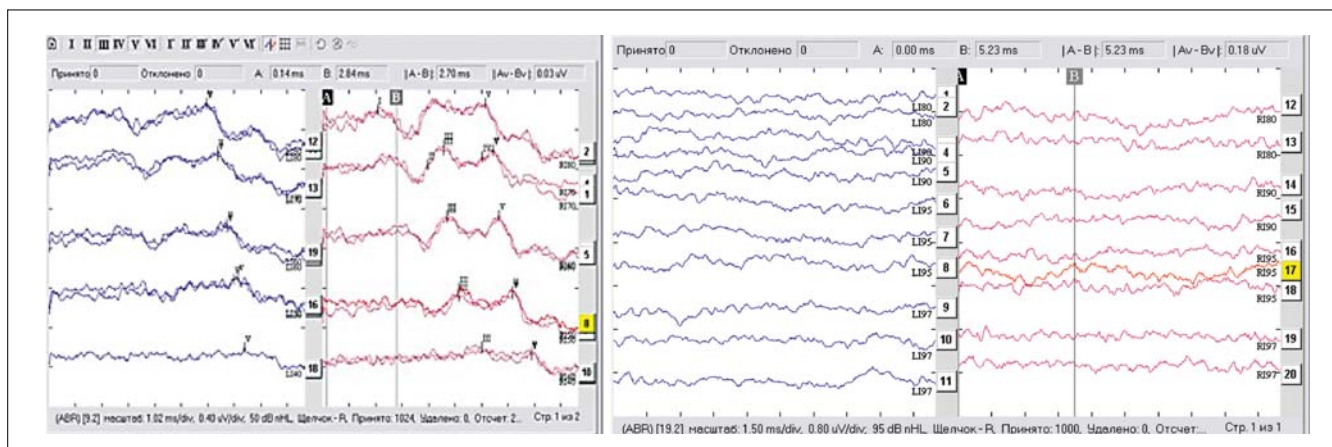


Рисунок 5. КСВП здорового ребенка (А) и глухого ребенка (В).

Figure 5. Short-latency auditory evoked potentials in a healthy child (A) and in a deaf child (B).

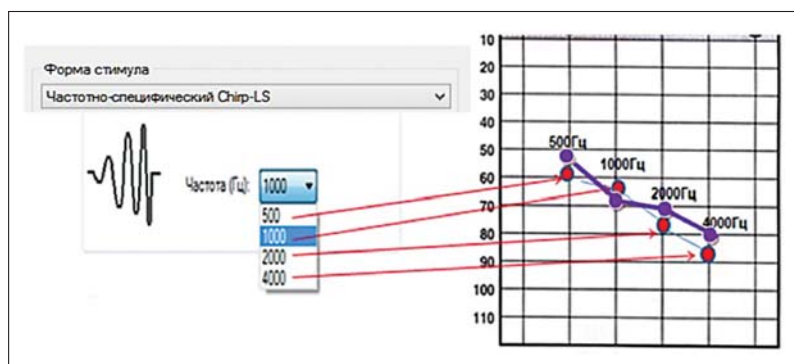


Рисунок 6. Частотно-специфические chirp-LS стимулы для определения частотной аудиограммы.

Figure 6. Frequency-specific chirp-LS stimuli for determining the frequency audiogram.

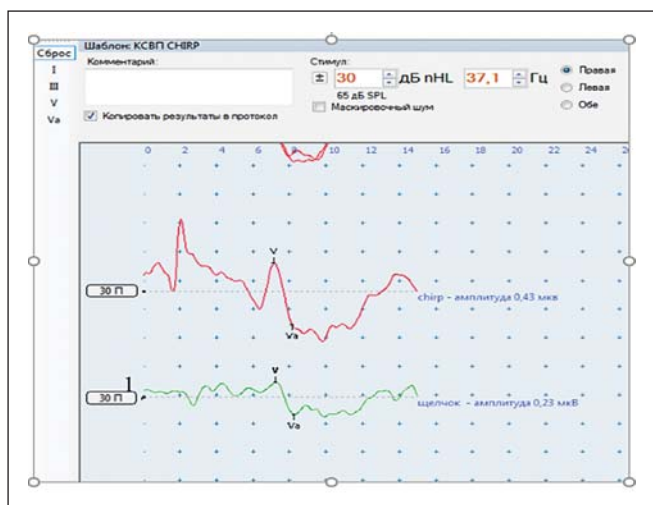


Рисунок 7. Амплитуда V пика и визуализация ответа при использовании щелчка и частотно-модулированного стимула Chirp, прибор Нейроаудио (Нейрософт, Россия).

Figure 7. Amplitude of the V peak and visualization of the response when using a click and frequency-modulated stimulus Chirp, Neuroaudio device (Neurosoft, Russia).

невозможно диагностировать без регистрации КСВП и микрофонного потенциала улитки [33, 34, 35].

Для стимуляции при проведении КСВП, как правило, используют широкополосные акустические щелчки, подаваемые через внутриушные телефоны. После наложения электродов при записи КСВП регистрируется вызванная электрическая активность слухового нерва и структур ствола мозга, возникающая во временном окне 1–15 мс (рисунок 5).

КСВП является комплексным ответом, отражающим активность слухового нерва, улитковых ядер, ядер верхнеоливарного комплекса, боковой петли и нижнего бугорка [25]. Регистрация КСВП отражает активность всего слухового проводящего пути и в меньшей степени зависит от состояния звукопроводящей системы. Метод регистрации КСВП является достаточно чувствительным и специфическим.

Использование в качестве стимула широкополосного щелчка позволяет оценить пороги слуха ребенка в диапазоне 2–4 кГц. Недостатками метода являются его длительность и необходимость неподвижности ребенка.

Для получения частотных порогов слуха грудного ребенка возможно использование тональных посылок. Так, в отличие от щелчка, который позволяет оценить уровень слуха ребенка в диапазоне 2–4 кГц, использование тональных стимулов позволяет получить частотный график слуха (аудиограмму),

что абсолютно необходимо для слухопротезирования и настройки слуховых аппаратов в случае выявления у ребенка сенсоневральной тугоухости. Использование современных новых типов стимула, например частотно-специфических chirp-LS стимулов, открывает новые возможности получения частотно специфичной информации и позволяет построить аудиограмму на основных речевых частотах: 500 Гц; 1 000 Гц; 2 000 Гц; 4 000 Гц (рисунок 6).

Использование нового типа стимуляции Chirp позволяет получить высокоамплитудный V пик, что улучшает визуализацию и специфичность ответа [36]. Кроме того, наличие хорошо визуализируемого V пика позволяет идентифицировать уровень слуха ребенка уже при небольшом количестве накоплений, что сокращает время обследования и седатации ребенка (рисунок 7).

Стационарные слуховые потенциалы на модулированные тоны (ASSR — Auditory Steady-State Response). Методика позволяет получать частотно-специфичную информацию отдельно на каждое ухо и позволяет построить «объективную аудиограмму». Метод широко применяется в клинической практике для диагностики уровня слуха детей [37, 38, 39, 40].

Кроме того, важным преимуществом методики является возможность предъявления максимальных интенсивностей стимулов и оценки порогов слуха до 120 дБ (рисунок 8).

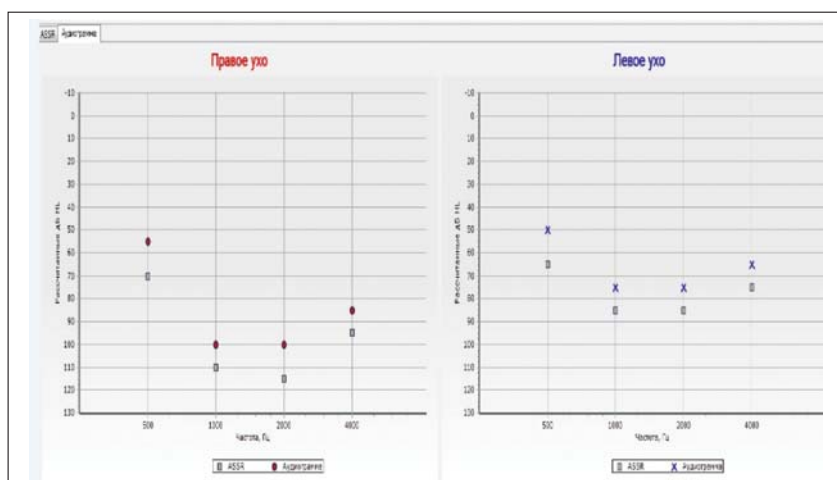


Рисунок 8. Аудиограмма ребенка 6 мес., полученная с помощью методики регистрации стационарных слуховых вызванных потенциалов (ASSR) на модулированные тоны.

Figure 8. Audiogram of the child 6 months old, obtained using the technique of recording stationary auditory evoked potentials (ASSR) for modulated tones.

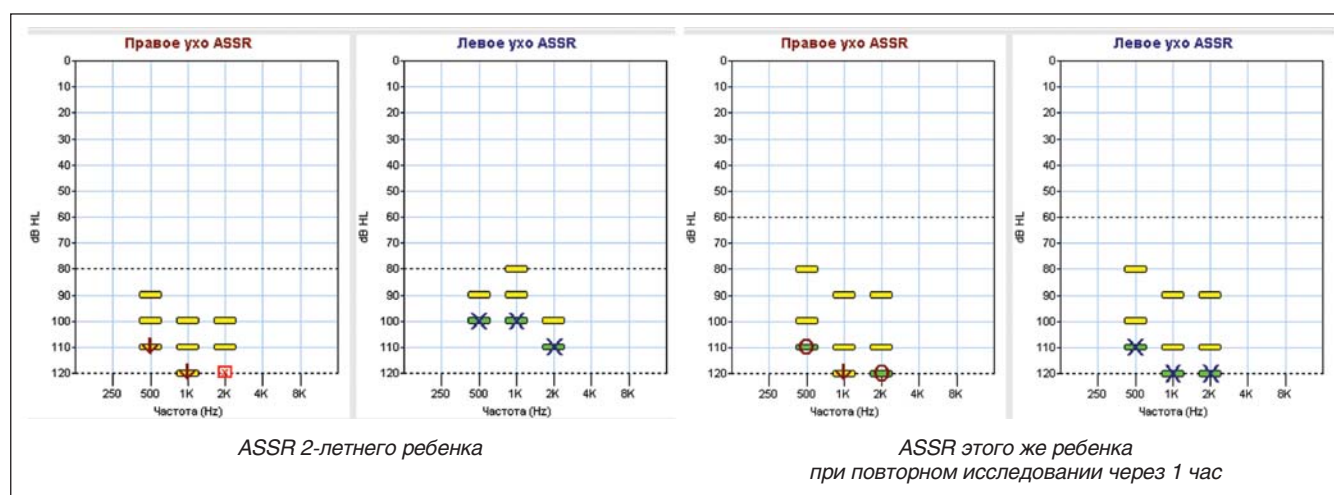


Рисунок 9. Флюктуация порогов слуха при регистрации ASSR.
Figure 9. Fluctuation of hearing thresholds during ASSR registration.

Однако необходимо учитывать, что метод не заменяет необходимость выполнения других методик, особенно КСВП, так как возможны отклонения полученных порогов слуха от реальных, особенно при снижении слуха слабой или умеренной степени, что требует сравнения полученных данных с результатами других методов (рисунок 9).

Madell J.R. с соавт. указывает, что слуховые вызванные потенциалы ствола мозга (Auditory Brainstem Response – ABR), стационарные потенциалы (Auditory Steady State Response – ASSR), отоакустическая эмиссия (OtoAcoustic Emission – OAE) обеспечивают важную информацию о состоянии слухового анализатора, но непосредственно не измеряют уровень слуха ребенка [9]. Данные объективных тестов позволяют перепроверить и подтвердить данные субъективных психоакустических методик. Принято считать, что принцип перекрестного контроля должен присутствовать при оценке уровня слуха у детей. Данные как отечественной, так и зарубежной доступной литературы подтверждают необходимость использования не только объективных электрофизиологических

методов измерения функции слуха, но и субъективных психоакустических тестов [9, 27].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Литературный обзор современных методов исследования слуха показал, что у детей грудного возраста возможно применение как субъективных, так и объективных методов исследования функции слуха. Наиболее известными и применимыми в практике тестами являются: поведенческая аудиометрия, аудиометрия с визуальным подкреплением, импедансометрия, регистрация отоакустической эмиссии и различных классов слуховых вызванных потенциалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ отечественной и зарубежной литературы свидетельствует о необходимости комплексного перекрестного контроля исследования функции слуха у грудных детей с обязательным использованием как объективных, так и субъективных методик. ■

Конфликт интересов: все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Chibisova SS, Markova TG, Alekseeva NN, et al. Epidemiology of hearing disorders among children of the 1st year of life. *Bulletin of otorhinolaryngology*. 2018;83(4):37–42. (In Russ.). [Чибисова С.С., Маркова Т.Г., Алексеева Н.Н. и др. Эпидемиология нарушений слуха среди детей 1-го года жизни. *Вестник оториноларингологии*. 2018;83(4):37–42. doi: 10.17116/otorino201883437]
- Childhood hearing loss: strategies for prevention and care. World Health Organization, 2016. Accessed November 1, 2017. <http://www.who.int/pbd/deafness/world-hearing-day/2016/en/>
- Yoshinaga-Itano C, Sedey AL, Wiggin M, et al. Outcomes Improved Through Early Hearing Detection and Earlier Cochlear Implantation. *Otology & Neurotology: Official Publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*. 2018;39:1256–1263. doi: 10.1097/MAO.0000000000001976
- Thomson V, Yoshinaga-Itano C. The Role of Audiologists in Assuring Follow-Up to Outpatient Screening in Early Hearing Detection and Intervention Systems. *American Journal of Audiology*. 2018;1–11. doi: 10.1044/2018_AJA-17-0113
- Yoshinaga-Itano C, Sedey AL, Wiggin M, Chung W. Early Hearing Detection and Vocabulary of Children With Hearing Loss. *Pediatrics*. 2017;140(2):2016–2964. doi: 10.1542/peds.2016-2964
- Glick H, Sharma A. Cross-modal plasticity in developmental and age-related hearing loss: Clinical implications. *Hear Res*. 2017;343:191–201. doi: 10.1016/j.heares.2016.08.012
- Chiocca M. *Advanced Pediatric Assessment*, second edition. New York NY 10036: Springer Publishing Company, LLC, 2015:307. ISBN:978-0-8261-6177-2
- Krukov AE, Kunelskaya NL, Kulagina ME. Age-related features of hearing research in children. *RMJ*. 2011;6:386–389. (In Russ.). [Крюков А.И., Кунельская Н.Л., Кулагина М.И. Возрастные особенности исследования слуха у детей. *РМЖ*. 2011;6:386–389]. eISSN: 1682-4024
- Madell JR, Flexer C, Wolfe J, et al. Hearing test protocols for children. *Pediatric audiology: Diagnosis, technology, and management*. New York, NY.: Thieme Medical. 2019a;3:65–74. doi: 10.1055/b-006-149648
- Madell JR, Flexer C. *Pediatric audiology: Diagnosis, technology, and management*. NY.: Thieme, 2013:424. ISBN: 9781604068443
- Guidelines for the audiologic assessment of children from birth to 5 years of age [Electronic resource]. American Speech-

- Language—Hearing Association. URL: http://www.infanthearing.org/coordinator_orientation/section2/10_asha_guidelines.pdf
12. Madell JR, Schafer EC. Evaluation of speech perception in infants and children in Pediatric audiology: Diagnosis, technology, and management. NY.: *Thieme Medical*, 2019, 3rd ed.: 97–108. ISBN-13: 978-1626234017
 13. Garcia MV, Didone DD, Gurgel JR, et al. Visual Reinforcement Audiometry and Steady-State Auditory Evoked Potential in infants with and without conductive impairment. *Revista CEFAC*, 2018;20(3):324–332. doi: 10.1590/1982-0216201820312217
 14. Singh PK, Kumar N, Kumar D, et al. A prospective study for hearing screening of 4356 newborns by transient evoked oto-acoustic emissions and brainstem evoked response audiometry: a study of high risk factors for hearing loss. *International Journal of Research in Medical Sciences*. 2017;5(4):1554–1557. doi: 10.18203/2320-6012.ijrms20171264
 15. Savenko EV, Garbaruk ES. Age-related dynamics of auditory function in babies born deeply premature. *Bulletin of Otorhinolaryngology*. 2018;83(5):11–16. (In Russ.) [Савенко И.В., Гарбарук Е.С. Возрастная динамика слуховой функции у детей, родившихся глубоко недоношенными. *Вестник оториноларингологии*. 2018;83(5):11–16]. doi: 10.17116/otorino20188305111
 16. Wroblewska-Seniuk K, Dabrowski P, Szyfter W, et al. Universal newborn hearing screening: methods and results, obstacles, and benefits. *Pediatr Res*. 2017; 81:415–422. doi:org/10.1038/pr.2016.250
 17. Katrin N, Shelly C, Tavartkiladze G, et al. Newborn and Infant Hearing Screening Facing Globally Growing Numbers of People Suffering from Disabling Hearing Loss. *Int Neonatal J Screen*. 2019;5(1):7. doi: org/10.3390/ijns5010007
 18. Adylova FX, Kholmatov DE, Aliev NV. The advanced methods of diagnostics and electroacoustic correction of hearing in children with sensorineural hearing loss. *Russian Otorhinolaryngology*. 2018;2:11–13. (In Russ.). [Адылова Ф.Х., Холматов Д.И., Алиев Н.В. Современные методы диагностики и электроакустическая коррекция слуха у детей с сенсоневральной тугоухостью. *Российская оториноларингология*. 2018;2:11–13]. doi: 10.18692/1810-4800-2018-2-11-13
 19. Ovchinnikov EL, Yashin SS, Adyshirin-Zade KA, et al. Otoacoustic emission at the frequency of the distortion product in violation of sound transmission and sound perception. Diagnostic justification of the effect. *Modern problems of science and education*. 2018;4:1–4. (In Russ.). [Овчинников Е.Л., Яшин С.С., Адыширин-Заде К.А., и др. Отоакустическая эмиссия на частоте продукта искажения при нарушении звукопроводения и звуковосприятия. Диагностическое обоснование эффекта. *Современные проблемы науки и образования*. 2018;4:1–4]. doi:10.17513/spno.27829
 20. Abdala C, Kalluri R. Towards a joint reflection-distortion otoacoustic emission profile: Results in normal and impaired ears. *J Acoust Soc Am*. 2017;142(2):812–824. doi: 10.1121 / 1.4996859
 21. Abdala C. Swept-Tone Stimulus-Frequency Otoacoustic Emissions in Human Newborns. *J Acoust Soc Am*. 2015;137(1):78–84. doi: 10.1121/1.4903915
 22. Jin L, Li K, Li X. Distortion product otoacoustic emission together with tympanometry for assessing otitis media with effusion in children. *Acta Otolaryngol*. 2018;138(8):691–694. doi: 10.1080/00016489.2018.1439591
 23. Alekseeva NN, Belov OA, Tavartkiladze GA. Analysis of acoustic activity not synchronized with the stimulus when recording delayed evoked otoacoustic emission. *Bulletin of Otorhinolaryngology*. 2016;81(6):37–41. (In Russ.). [Алексеева Н.Н., Белов А.О., Таварткиладзе Г.А. Анализ акустической активности, не синхронизированной со стимулом, при регистрации задержанной вызванной отоакустической эмиссии. *Вестник оториноларингологии*. 2016;81(6): 37–41]. doi: 10.17116/otorino201681637-41
 24. Myers JI, Kei JI, Aithal S, et al. Diagnosing Conductive Dysfunction in Infants Using Wideband Acoustic Immittance: Validation and Development of Predictive Models. *J Speech Lang Hear Res*. 2019;62(9):3607–3619. doi: 10.1044/2019_JSLHR-H-19-0084
 25. Tavartkiladze GA. Selected lectures on clinical audiology. М., 2011:178. (In Russ.). [Таварткиладзе Г.А. Избранные лекции по клинической аудиологии. М., 2011:178]. ISBN 987-5-7249-1621-9
 26. Rakhmanova EV, Dyakonova EN, Shilov BV, et al. Tympanometry in premature infants during the first year of life. *Bulletin of Otorhinolaryngology*. 2015;1:35–38. (In Russ.). [Рахманова И.В., Дьяконова И.Н., Шилов Б.В., Матроскин А.Г. Тимпанометрия у недоношенных детей в течение первого года жизни. *Вестник оториноларингологии*. 2015;1:35–38]. doi: 10.17116/otorino201580135-38
 27. Gelfand S. Essentials of Audiology. NY.: *Thieme*, 2016. ISBN: 9781604068610
 28. Belov OA, Yasinakaya AA, Tavartkiladze GA. Method for simultaneous recording of several frequency-specific short-latency auditory evoked potentials. *Bulletin of otorinolaryngology*. 2018;83(4):26–30. (In Russ.). [Белов О.А., Ясинская А.А., Таварткиладзе Г.А. Метод одновременной регистрации нескольких частотно-специфичных коротколатентных слуховых вызванных потенциалов. *Вестник оториноларингологии*. 2018;83(4):26–30]. doi:10.17116/otorino201883426
 29. Tavartkiladze GA. Electrically evoked potentials of the auditory cortex. *Bulletin of otorinolaryngology*. 2018;4:9–14. (In Russ.). [Таварткиладзе Г.А. Электрически вызванные потенциалы слуховой коры. *Вестник оториноларингологии*. 2018;4:9–14]. doi: org/10.17116/otorino20188349
 30. Louza J, Polterauer D, Wittinger N, et al. Threshold changes of ABR results in toddlers and children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2016;85:120–1207. doi: org/10.1016/j.ijporl.2016.03.009
 31. Madsen S, Harte J, Elberling C, et al. Accuracy of averaged auditory brainstem response amplitude and latency estimates. *International Journal of Audiology*. 2018;57(5):345–353. doi: 10.1080/14992027.2017.1381770
 32. Shashidhar SS, Shradha SP. Study of brain stem evoked audiometry in children under 10 years of age: a case series study. *International Journal of Otorhinolaryngology and Head and Neck Surgery*. 2019;5(4):1071–1074. doi: 10.18203/issn.2454-5929.ijohns20192732
 33. Lalayanc MR, Brazhkina NB, Geptner EN, et al. Auditory evoked potentials in children with a spectrum of classroom neuropathy disease. *Bulletin of otorinolaryngology*. 2018;83(4):15–20. (In Russ.). [Лалаянц М.Р., Бражкина Н.Б., Гептнер Е.Н., и др. Слуховые вызванные потенциалы у детей с заболеванием спектра аудиторных нейропатий. *Вестник оториноларингологии*. 2018;83(4):15–20]. doi:10.17116/otorino201883415
 34. Kim SH, Choi HS, Han YE, et al. Diverse etiologies manifesting auditory neuropathy characteristics from infants with profound hearing loss and clinical implications. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2016;86:63–7. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2016.04.013>
 35. Chang MY, Kim AR, Kim NK, et al. Refinement of molecular diagnostic protocol of auditory neuropathy spectrum disorder: Disclosure of significant level of etiologic homogeneity in Koreans and its clinical implications. *Medicine (Baltimore)*. 2015;94(47). doi:10.1097 / MD.0000000000001996
 36. El-Attar A, Enass S, Hoda Abu M, et al. Auditory brainstem response to chirp stimulus in children with moderate and severe sensorineural hearing loss. *Journal of current medical research and practice*. 2017;2(2):136–140. doi: 10.4103/JCMRP.JCMRP_25_16
 37. Naumova IV, Gadaleva SV, Pashkov AV. Auditory steady-state responses. Literature review. *Russ. Otorhinolaryngology*. 2018;3:115–128. (In Russ.). [Наумова И.В., Гадалева С.В., Пашков А.В. Стационарные слуховые потенциалы. Обзор литературы. *Российская оториноларингология*. 2018;3:115–128]. doi: 10.18692/1810-4800-2018-3-115-129
 38. Sininger, Yvonne S, Hunter, Lisa L, Hayes, et al. Evaluation of Speed and Accuracy of Next-Generation Auditory Steady State Response and Auditory Brainstem Response Audiometry in Children With Normal Hearing and Hearing Loss. *Ear and Hearing*. 2018;39(6):1207–1223. doi:10.1097/AUD.0000000000000580
 39. Almoni C, Crema L, Savini S, et al. Hearing threshold estimation by auditory steady state responses (ASSR) in children. *Acta Otorhinolaryngol Ital*. 2018;38(4):361–368. doi: 10.14639/0392-100X-1463
 40. François M, Dehan E, Carlevan M, et al. Use of auditory steady-state responses in children and comparison with other electrophysiological and behavioral tests. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases*. 2016;133(5):331–335. doi:org/10.1016/j.anorl.2016.07.008