

Стационарные слуховые вызванные потенциалы в клинической практике

Д.м.н. Е.Е. Савельева¹, к.м.н. Г.Ш. Туфатулин^{2,3}, Е.С. Савельев¹

¹ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, Уфа

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

³ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России, Санкт-Петербург

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: определить соотношение между психоакустическими порогами слуха и порогами слуха, полученными при помощи метода регистрации стационарных вызванных потенциалов (ASSR).

Материал и методы: регистрация ASSR при стимуляции внутриушными телефонами проводилась у 76 детей (152 уха) с сенсоневральной тугоухостью (средний возраст $2,68 \pm 0,16$ года) в состоянии физиологического сна. Применялись стимулы, модулированные по амплитуде и частоте (ASSR MM), частота модуляции — 90 Гц. У 40 детей применялся Chirp-стимул. ASSR при стимуляции в звуковом поле регистрировались у 2 взрослых (25 и 30 лет) и 2 детей (4 и 8 лет) с нормальным слухом. Исследование проводилось в звукозаглушенной камере. Частота модуляции — 40 Гц. Сравнивались пороги, полученные с помощью психоакустических методов и ASSR.

Результаты исследования: пороги ASSR MM наиболее близко приближаются к психоакустическим порогам слуха при выраженной степени тугоухости и глухоте, при I–III степени тугоухости разница между порогами ASSR MM теста и психоакустическими тестами увеличивается. Средняя разница составила: на 500 Гц — 18,03 дБ, на 1000 Гц — 15,46 дБ, на 2000 Гц — 12,71 дБ, на 4000 Гц — 13,96 дБ ($r_s=0,73-0,79$). При использовании Chirp-стимула средняя разница между порогами ASSR и психоакустическими тестами составила: на 500 Гц — 8,94 дБ, на 1000 Гц — 7,88 дБ, на 2000 Гц — 5,63 дБ, на 4000 Гц — 6,77 дБ ($r_s=0,85-0,88$). Разница между поведенческими и электрофизиологическими порогами в звуковом поле в зависимости от частоты варьировала от 0 до 35 дБ, отмечалась корреляция между указанными порогами, составившая у взрослых от $r_s=0,75$ до $r_s=0,95$ ($p<0,05$), у детей от $r_s=0,55$ до $r_s=0,95$ ($p<0,05$). Максимальная разница между поведенческими порогами и ASSR в звуковом поле отмечалась на частоте 500 Гц (среднее значение — 15,6 дБ), а минимальная — на частотах 2 и 4 кГц (средние значения 8 дБ и 7 дБ соответственно).

Заключение: применение метода ASSR позволяет определить пороги слуха, имеющие высокую степень корреляции с поведенческими порогами. При этом предпочтительным типом стимула является Chirp. Подача стимула в звуковом поле открывает потенциальные возможности для оценки эффективности слухопротезирования.

Ключевые слова: тугоухость, диагностика слуха, ASSR, эффективность слухопротезирования.

Для цитирования: Савельева Е.Е., Туфатулин Г.Ш., Савельев Е.С. Стационарные слуховые вызванные потенциалы в клинической практике. РМЖ. 2020;5:3–8.

ABSTRACT

Auditory evoked potentials on an inpatient basis in clinical practice

E.E. Savelieva¹, G.Sh. Tufatulin^{2,3}, E.S. Saveliev¹

¹Bashkir State Medical University, Ufa

²Children's City Center of Surdology, Saint Petersburg

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

Aim: to determine the association between psychoacoustic auditory thresholds and hearing thresholds obtained using the registration method of auditory steady-state response (ASSR).

Patients and Methods: ASSR registration during intra-earphone stimulation was performed in 76 children (152 ears) with sensorineural hearing loss (average age — 2.68 ± 0.16 years) during physiological sleep. Stimuli modulated in amplitude and frequency (ASSR MM) were used, modulation frequency was 90 Hz. Chirp stimulus was used in 40 children. ASSR during stimulation in the auditory field was registered in 2 adults (25 and 30 years old) and 2 children (4 and 8 years old) with normal hearing. The study was conducted in an anechoic chamber. The modulation frequency was 40 Hz. Thresholds obtained using psychoacoustic methods and ASSR were compared.

Results: the ASSR MM thresholds most closely reached the psychoacoustic auditory thresholds with a marked degree of hearing loss and deafness; in the I–III degrees of hearing loss, the difference between thresholds of the ASSR MM and psychoacoustic tests was increased. The average difference was at 500 Hz — 18.03 dB, at 1000 Hz — 15.46 dB, at 2000 Hz — 12.71 dB, at 4000 Hz — 13.96 dB ($r_s=0.73-0.79$). When using the Chirp stimulus, the average difference between thresholds of ASSR and psychoacoustic tests was at 500 Hz — 8.94 dB, at 1000 Hz — 7.88 dB, at 2000 Hz — 5.63 dB, at 4000 Hz — 6.77 dB ($r_s=0.85-0.88$). Depending on the frequency, the difference between behavioral and electrophysiological thresholds in the auditory field varied from 0 dB to 35 dB, there was a correlation from $r_s=0.75$ to $r_s=0.95$ ($p<0.05$) in adults, and from $r_s=0.55$ to $r_s=0.95$ ($p<0.05$) in children. The maximum difference between behavioural and ASSR thresholds in the auditory field was observed at 500 Hz (average value — 15.6 dB), and the minimum — at 2 and 4 kHz (average values of 8 dB and 7 dB, respectively).

Conclusion: ASSR method allows to determine hearing thresholds that have a high correlation degree with behavioural thresholds. Thus, the preferred type is Chirp stimulus. Providing stimulus in the auditory field opens up potential opportunities for evaluating the effectiveness of the auditory prosthetics.

Keywords: hearing loss, hearing diagnostics, ASSR, auditory prosthetics effectiveness.

For citation: Savelieva E.E., Tufatulin G.Sh., Saveliev E.S. Auditory evoked potentials on an inpatient basis in clinical practice. RMJ. 2020;5:3–8.

ВВЕДЕНИЕ

Стационарные слуховые вызванные потенциалы (Auditory Steady-State Responses, ASSR) представляют собой нервные потенциалы, которые вызываются периодической модуляцией стимула. Таким образом, ASSR — это электрические ответы различных отделов слухового пути, которые вызываются постоянными модулированными звуковыми сигналами [1]. Нервный ответ может быть зафиксирован объективно на уровнях интенсивности, близких к субъективным порогам слуха, поэтому данный метод широко используется для определения частотных порогов слуха у детей. Клиницистам метод ASSR дает частотно-специфическую информацию, сопоставимую с субъективной аудиограммой. В клинических исследованиях наиболее часто используются частоты 500, 1000, 2000 и 4000 Гц. Поэтому регистрация ASSR широко применяется в сурдологии-оториноларингологии и является особенно актуальной методикой в детской практике для получения частотно-специфических порогов слуха [2–4]. В качестве стимулов могут использоваться тоны, модулированные по амплитуде (AM), частоте (FM), по частоте и амплитуде (MM — mixed modulation) и с использованием других типов модуляции. Регистрация ASSR может проводиться в поличастотном или моночастотном режимах [5, 6]. При моночастотном тесте стимуляция производится на одной частоте при заданной интенсивности. В случае поличастотной регистрации ASSR (мульти-ASSR) происходит стимуляция сигналом, состоящим из нескольких частот. С. Elberling (2008) описывает опыт применения нового современного стимула — Chirp («щебетание»). Автором оцениваются преимущества Chirp-стимулов для получения частотно-специфической информации о порогах

слуха [7]. Характерной особенностью метода является автоматический анализ ответа мозга методом быстрого преобразования Фурье, что делает ASSR полностью объективной методикой [1].

Основное клиническое применение метода — объективная диагностика слуха у детей раннего возраста, а также у детей с тяжелой сопутствующей (в первую очередь неврологической) патологией. Пороги слуха, полученные с помощью метода ASSR, во многих случаях являются хорошим предиктором психоакустических порогов, т. е. метод позволяет приблизиться к частотной аудиограмме ребенка (рис. 1).

Перспективным направлением современной аудиологии является поиск способов объективной оценки эффективности слухопротезирования. Такая оценка важна при коррекции слуха у детей раннего возраста, которые не всегда способны давать четкую поведенческую реакцию на звуки пороговой интенсивности, а также для пациентов с комплексными нарушениями. Для этих целей было предложено использовать, в частности, ASSR, при этом подача стимула, как правило, производится в свободном звуковом поле с помощью динамика, а процедура регистрации потенциалов аналогична классической методике. Однако в отличие от уточненных поправочных коэффициентов для ASSR, регистрируемых при стимуляции через внутриушные телефоны, корреляция между психоакустическими порогом слуха и порогом ASSR, полученными при стимуляции в звуковом поле, изучена недостаточно.

Цель работы: определить соотношение между психоакустическими порогом слуха и порогом слуха, полученными при помощи метода ASSR.

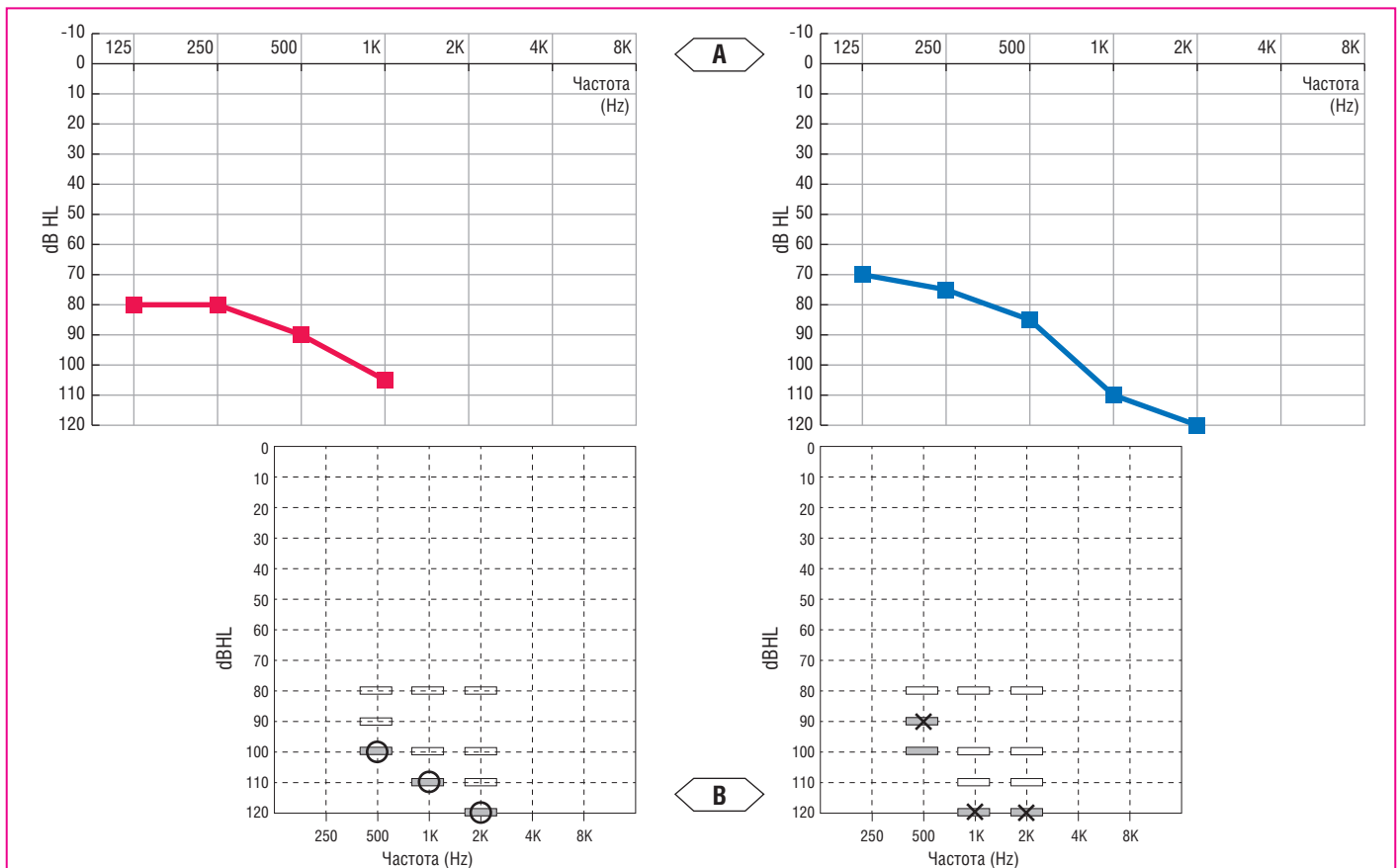


Рис. 1. Пороги слуха ребенка пяти лет, полученные с помощью методов: тональной пороговой аудиометрии (А) и мульти-ASSR-теста (В)

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование состояло из двух этапов. На первом этапе проводилась регистрация ASSR при стимуляции с помощью внутриушных телефонов, на втором — в звуковом поле. Использовалась система регистрации слуховых вызванных потенциалов «Нейро-Аудио» с программным обеспечением «Нейро-Аудио.NET» версии 1.0.104.1 («Нейро-софт», Россия, Иваново).

РЕГИСТРАЦИЯ ASSR ПРИ СТИМУЛЯЦИИ ВНУТРИУШНЫМИ ТЕЛЕФОНАМИ

В исследование включили 76 детей (152 уха) с хронической сенсоневральной тугоухостью и глухотой, способных участвовать в поведенческом тестировании (аудиометрия с визуальным подкреплением, игровая аудиометрия, тональная аудиометрия по классической методике). Средний возраст детей составил $2,68 \pm 0,16$ года, значение среднего порога слуха на четырех речевых частотах — $86,35 \pm 1,58$ дБ. У всех детей ($n=76$) сравнивались пороги, полученные с помощью субъективных психоакустических методов исследования и ASSR.

При регистрации ASSR использовался мультисоставный метод. Применялись стимулы, модулированные по амплитуде (глубина модуляции 100%) и частоте (25%), частота модуляции — 90 Гц, шаг — 5 дБ (далее — ASSR MM). Во время исследования ребенок находился в состоянии физиологического сна.

У 40 детей ($n=40$, 80 ушей) этой группы выполнялся мульти-ASSR-тест с применением частотно-специфического модулированного по амплитуде и частоте Chirp-стимула (далее — Chirp-ASSR). Средний возраст детей составил $2,60 \pm 0,23$ года, средняя потеря слуха на 4 речевых частотах — $89,15 \pm 2,16$ дБ. Использование Chirp-ASSR-теста также позволяло получить частотные составляющие уровня слуха ребенка. Полученные пороги сравнивали с порогами слуха, измеренными при проведении психоакустических методов и стандартных мульти-ASSR.

РЕГИСТРАЦИЯ ASSR ПРИ СТИМУЛЯЦИИ В ЗВУКОВОМ ПОЛЕ

Исследование проведено у 2 взрослых (25 и 30 лет) и 2 детей (4 и 8 лет) с нормальным слухом (всего 8 ушей) в звукозаглушенной камере. У испытуемых регистрировались следующие параметры:

- поведенческие пороги в звуковом поле на частотно-модулированные тоны;
- пороги регистрации ASSR в звуковом поле на частотах 500, 1000, 2000, 4000 Гц (далее — ASSR ЗП).

Для определения поведенческих порогов в качестве стимулятора использовались клинический аудиометр и акустическая колонка. Стимулами служили частотно-модулированные тоны на основных речевых частотах.

При регистрации ASSR ЗП применялся одночастотный метод стимуляции. Несущие частоты — 500, 1000,

2000, 4000 Гц. Частота модуляции — 40 Гц. Шаг интенсивности — 5 дБ. Испытуемый в состоянии спокойного бодрствования располагался сидя в удобном кресле на расстоянии 1 м от колонки таким образом, чтобы угол падения звуковой волны составлял 0° . Звуковое поле было откалибровано в соответствии с ГОСТ Р ИСО 8253-2-2012 «Акустика. Методы аудиометрических испытаний. Часть 2. Аудиометрия в звуковом поле с использованием чистых тонов и узкополосных испытательных сигналов» в дБ нПС.

На обоих этапах применялась двухканальная методика записи: лоб — левый сосцевидный отросток и лоб — правый сосцевидный отросток.

Статистическая обработка результатов исследования проведена на персональном компьютере с помощью прикладного пакета программ Microsoft Excel и Statistica 6.0. Вычислялись среднее арифметическое (M), средняя ошибка среднего арифметического (m), среднеквадратичное отклонение (σ).

Для определения корреляции между полученными порогами применялся коэффициент корреляции Спирмена (r_s). Интерпретация коэффициента корреляции проводилась исходя из уровня силы связи: от $\pm 0,01$ до $\pm 0,29$ — слабая; от $\pm 0,30$ до $\pm 0,69$ — умеренная; от $\pm 0,70$ до $\pm 1,00$ — сильная.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнение порогов слуха, полученных при регистрации ASSR MM, с порогами слуха на основных речевых частотах (0,5, 1, 2 и 4 кГц) по данным психоакустических тестов отражено в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что пороги ASSR MM теста наиболее близко приближаются к субъективным порогам слуха при глубокой степени тугоухости (глухоте), а при потере слуха слабой и средней степени (I–III степень тугоухости) разница между порогами ASSR MM теста и поведенческими порогами слуха увеличивается.

Средняя разница между порогами слуха, полученными с помощью психоакустических методов и ASSR MM, отражена в таблице 2.

Полученные значения демонстрируют достоверную сильную положительную корреляционную связь ($p < 0,001$) (рис. 2).

При регистрации ASSR MM и сравнении этих данных с результатами поведенческого тестирования оказалось, что на частоте 500 Гц разница составила менее 15 дБ у 30,92% детей, от 15 до 30 дБ — у 51,32% детей, более 30 дБ — у 17,76% детей; на частоте 1000 Гц 46,71% пациентов имели разницу до 15 дБ, 43,42% детей — от 15 до 30 дБ и 9,87% детей — более 30 дБ. На частоте 2000 Гц разница между порогами составила менее 15 дБ у 52,63% детей, от 15 до 30 дБ — у 40,13% детей, более 30 дБ — у 7,24% детей; на частоте 4000 Гц менее 15 дБ — у 56,58% детей, от 15 до 30 дБ — у 38,16% детей, более 30 дБ — у 5,26% детей.

Таблица 1. Разница между порогами слуха, определенными методом ASSR MM и субъективными поведенческими тестами ($n=76$, 152 уха), дБ

Степень тугоухости	Исследуемая частота				Среднее значение на 4 речевых частотах
	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	
I–III	25,22±0,82	22,39±0,93	18,15±1,14	18,37±1,14	18,20±2,05
IV	14,24±1,52	13,97±1,58	15,00±1,53	15,71±1,42	14,53±1,68
Глухота	14,03±0,79	11,84±0,74	8,24±0,85	9,84±8,66	9,26±0,83

Таблица 2. Среднее снижение слуха по данным психоакустических методов и ASSR MM (n=76, 152 уха)

Показатель	Частота, Гц				Среднее снижение на 4 речевых частотах
	500	1000	2000	4000	
Среднее снижение слуха по данным психоакустических тестов, дБ нПС	76,58±1,80	84,47±1,67	88,30±1,53	91,22±1,46	86,35±1,58
Среднее снижение слуха по данным ASSR MM, дБ нПС	89,28±1,44*	96,42±1,26*	98,68±1,27*	102,18±1,16*	97,06±1,15
Разница между психоакустическими тестами и ASSR MM, дБ нПС	18,03±0,68	15,46±0,67	12,71±0,72	13,96±0,64	13,84±0,78
Коэффициент корреляции между психоакустическими тестами и мульти-ASSR (r_s)	0,73	0,78 (p<0,001)	0,79 (p<0,001)	0,74 (p<0,001)	0,74 (p<0,001)

* p<0,001 в сравнении с порогом слуха на аналогичной частоте, полученным с помощью психоакустических тестов.

Результаты регистрации Chirp-ASSR у 40 детей (80 ушей) отражены в таблице 3. Полученные коэффициенты корреляции (r_s) показали достоверно большую положительную корреляционную связь между порогом слуха, полученным методом регистрации Chirp-ASSR, и поведенческими порогом слуха, чем между ASSR MM и поведенческими порогом слуха (p<0,001).

Корреляционная зависимость между порогом слуха, полученным с помощью поведенческих тестов, и порогом слуха, полученным методом регистрации Chirp-ASSR, отражена на рисунке 3.

Наиболее сильная корреляция порогов при регистрации Chirp-ASSR и приближение к поведенческим порогом слуха наблюдалась на частоте 2000 Гц, коэффициент корреляции составил 0,88 (p<0,001).

При регистрации ASSR ЗП разница между субъективными и объективными порогом в зависимости от частоты

варьировала от 0 до 35 дБ, при этом во всех случаях отмечалась значимая корреляция между поведенческими и электрофизиологическими порогом, составившая у взрослых от $r_s=0,75$ до $r_s=0,95$ (p<0,05), а у детей от $r_s=0,55$ до $r_s=0,95$ (p<0,05). Максимальная разница между поведенческими порогом и ASSR ЗП отмечалась на частоте 500 Гц (среднее значение — 15,6 дБ), а минимальная — на частотах 2 и 4 кГц (средние значения 8 дБ и 7 дБ соответственно).

ОБСУЖДЕНИЕ

Метод регистрации ASSR является важным практическим методом исследования порогов слуха у детей, позволяющим провести обследование при стимуляции очень громкими стимулами (120 дБ нПС), в отличие от метода регистрации коротколатентных слуховых вызванных потенциалов (до 103 дБ нПС), и получить частот-

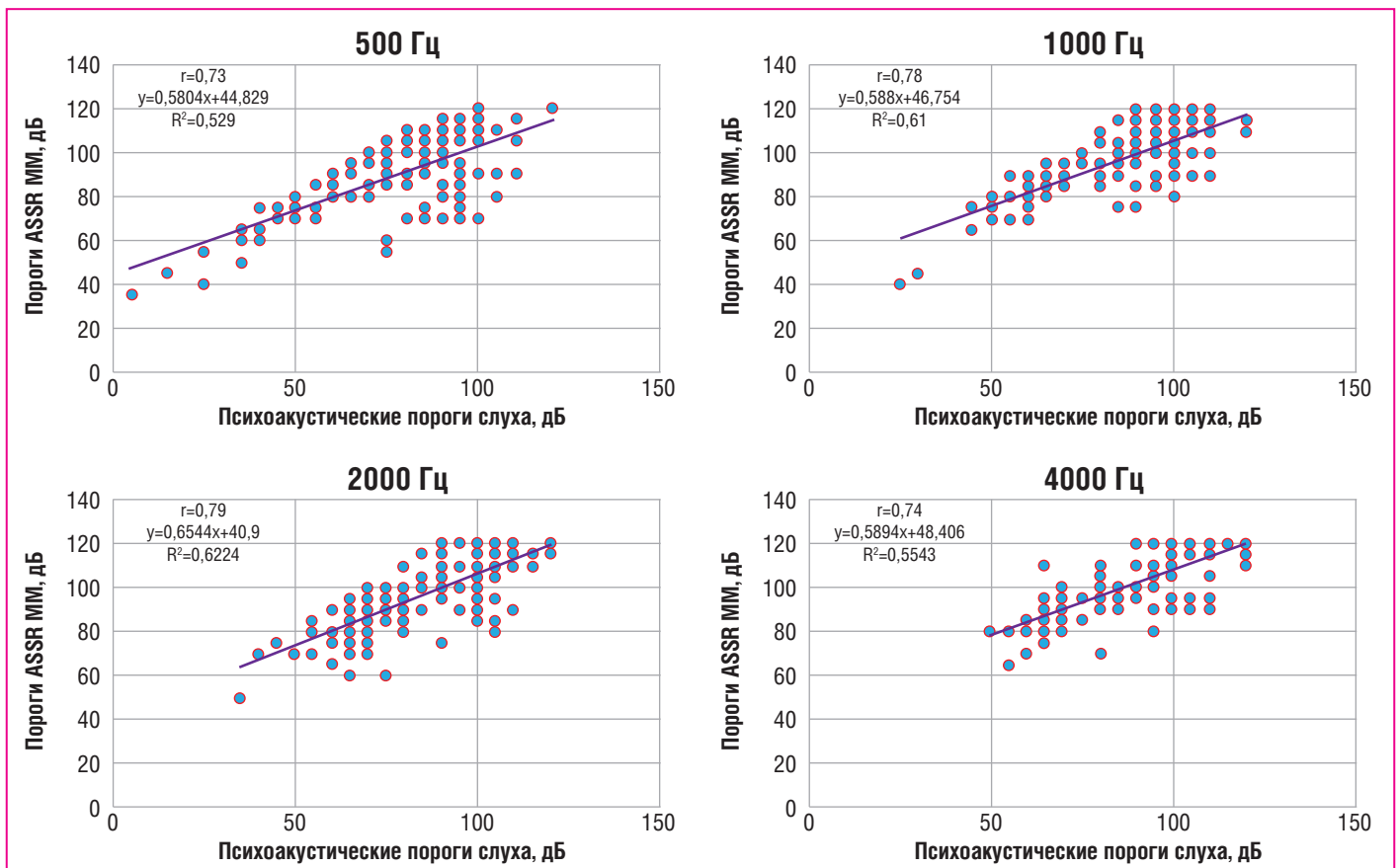


Рис. 2. Корреляционная связь между данными психоакустических тестов и ASSR MM на основных речевых частотах

Таблица 3. Среднее снижение слуха по данным психоакустических методов, ASSR MM и Chirp-ASSR (n=80)

Показатель	Частота, Гц			
	500	1000	2000	4000
Среднее снижение слуха по данным психоакустических тестов, дБ нПЧ	78,81±2,30	86,77±2,26	90,56±2,10	91,92±2,08
Среднее снижение слуха по данным ASSR MM, дБ нПЧ	94,19±2,00	99,11±1,85	102,99±1,77	105,92±1,51
Разница между психоакустическими тестами и ASSR MM, дБ нПЧ	18,13±0,85	15,51±0,92	13,04±0,97	15,00±0,98
Коэффициент корреляции между психоакустическими тестами и ASSR MM (r_s)	0,80	0,79	0,85	0,80
Среднее снижение слуха по данным Chirp-ASSR, дБ нПЧ	82,13±2,14*	90,32±1,86*	93,33±1,76*	95,00±1,93*
Разница между психоакустическими тестами и Chirp-ASSR, дБ нПЧ	8,94±0,78	7,88±0,81	5,63±0,76	6,77±1,20
Коэффициент корреляции между психоакустическими тестами и Chirp-ASSR (r_s)	0,85	0,86	0,88	0,87

* $p < 0,001$ в сравнении с порогом слуха на аналогичной частоте, полученным с помощью психоакустических тестов.

но-специфическую информацию, важную для постановки диагноза, настройки слуховых аппаратов, определения показаний к кохлеарной имплантации. В нашем исследовании данный метод позволил уточнить степень тугоухости и подтвердить установленный диагноз. Важным преимуществом методики является то, что ее результат не нуждается в дополнительной визуальной интерпретации в отличие от результатов регистрации коротколатентных слуховых вызванных потенциалов.

Однако при использовании данного метода возможны колебания и нестабильность полученных порогов, что требует применения перекрестного контроля (сопоставления данных с результатами регистрации других классов слуховых вызванных потенциалов, психоакустических тестов и сурдопедагогической оценкой). Результаты ASSR-теста, с нашей точки зрения, не должны использоваться в качестве единственного источника информации о порогах

слуха для настройки слуховых аппаратов в связи со значимым отличием данных порогов от психоакустических у части детей (у 9,87% детей пороги отличались более чем на 30 дБ) и возможностью флюктуации полученных порогов. Между тем пороги ASSR подчас являются единственным источником первичной аудиологической информации для настройки слуховых аппаратов у детей с комплексными нарушениями, у которых невозможно получить достоверные поведенческие реакции на звук. С учетом неуклонного роста доли таких пациентов объективная диагностика слуха не теряет своей актуальности.

По нашим данным, метод ASSR обладает высокой специфичностью (96,7%) и чувствительностью (99,5%) [4].

В исследовании применялась редко используемая методика регистрации ASSR при стимуляции в звуковом поле. Полученные в исследовании результаты демонстрируют наличие корреляционной связи между поведенческими по-

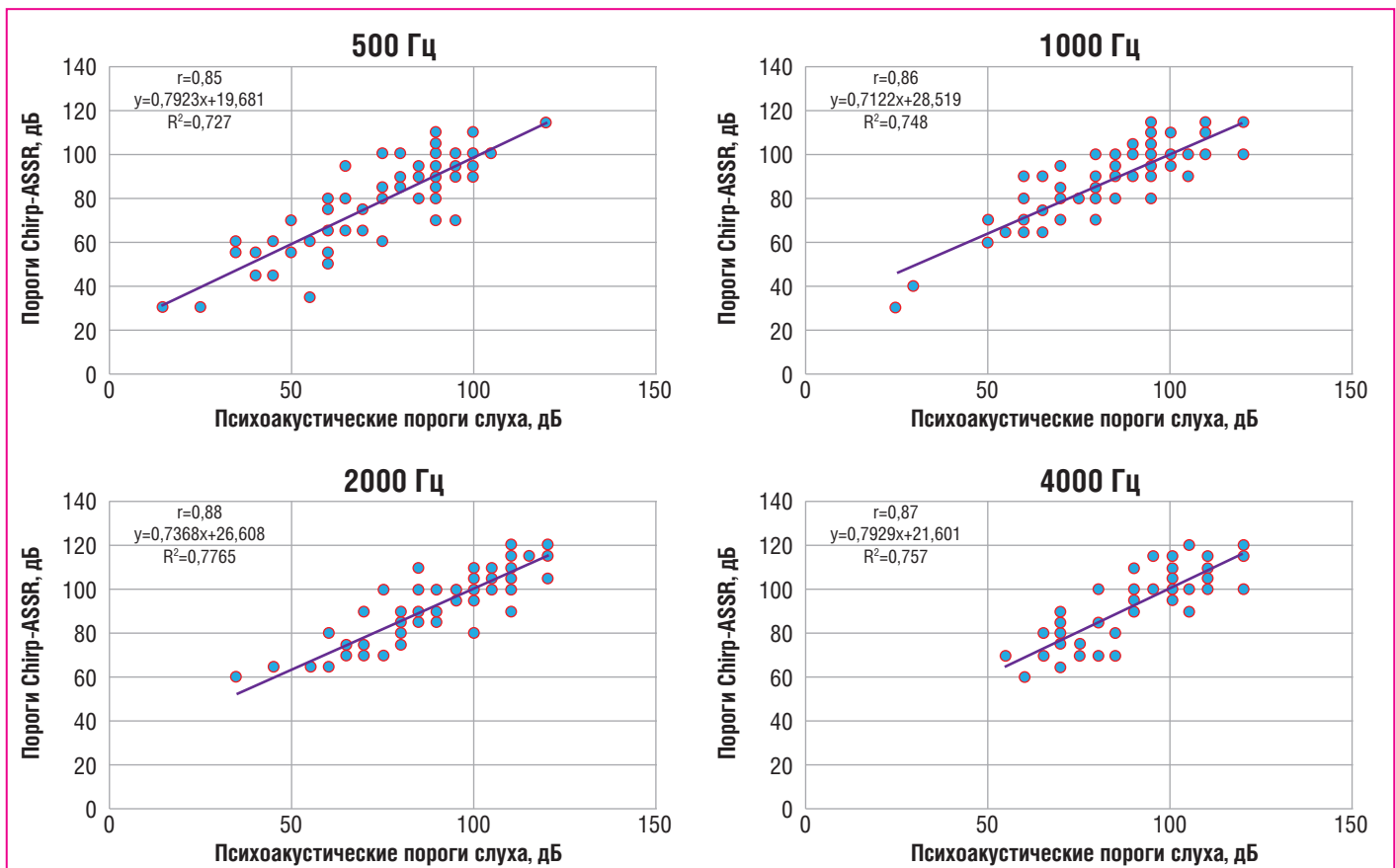


Рис. 3. Корреляционная связь между данными психоакустических тестов и Chirp-ASSR на основных речевых частотах

