

УДК 612.282.2
EDN: AUKPSU
<https://doi.org/10.15275/ssmj2103254>

Оригинальная статья

СЛУХОВЫЕ СТАЦИОНАРНЫЕ ВЫЗВАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ ПРИ СЕНСОНЕВРАЛЬНОЙ ТУГОУХОСТИ И НОРМАЛЬНОЙ СЛУХОВОЙ ФУНКЦИИ

В.В. Носкова, А.Н. Храбриков

ФГБОУ ВО «Кировский государственный медицинский университет» Минздрава России, Киров, Россия

AUDITORY STEADY-STATE EVOKED POTENTIALS IN SENSORINEURAL HEARING LOSS AND NORMAL AUDITORY FUNCTION

V.V. Noskova, A.N. Khrabrikov

Kirov State Medical University, Kirov, Russia

Для цитирования: Носкова В.В., Храбриков А.Н. Слуховые стационарные вызванные потенциалы при сенсоневральной тугоухости и нормальной слуховой функции. Саратовский научно-медицинский журнал. 2025; 21 (3): 254-257. EDN: AUKPSU. <https://doi.org/10.15275/ssmj2103254>

Аннотация. Цель: оценить взаимосвязь между психоакустическими порогами слуха и порогами ASSR (Auditory Steady-State Response) у пациентов с сенсоневральной тугоухостью (СНТ) и отологически здоровых обследуемых. Материал и методы. Слуховая функция изучена у 130 человек: 1-я группа – пациенты с хронической СНТ ($n=50$), 2-я группа – с острой СНТ ($n=50$), 3-я группа – отологически здоровые ($n=30$). Сравнивали пороги при регистрации тональной пороговой аудиометрии и при регистрации слуховых стационарных вызванных потенциалов. Результаты. Средняя разница между психоакустическими порогами слуха и порогами ASSR на 4 речевых частотах у пациентов с СНТ на правом ухе составила 15 дБ нормального порога слуха (нПС; $p=0,005$), на левом – 14,4 дБ нПС ($p=0,005$), с минимальной разницей 12,3±5,9 дБ нПС на частоте 4000 Гц у пациентов 1-й группы на правом ухе ($p<0,001$), с максимальной разницей 18,4±8,2 дБ нПС на частоте 2000 Гц у пациентов 2-й группы на левом ухе ($p=0,005$). В 3-й группе средняя разница между психоакустическими порогами слуха и порогами ASSR на 4 речевых частотах на правом ухе – 10 дБ нПС, на левом – 11,2 дБ нПС. Минимальная разница порогов выявилась на частоте 4000 Гц на правом ухе (6,5±1,6 дБ нПС; $p<0,001$), максимальная – на частоте 500 Гц на правом ухе (14,8±5,8 дБ нПС). У пациентов с СНТ при регистрации тональной пороговой аудиометрии и ASSR-теста коэффициент корреляции варьировался от 0,81 до 0,94 ($p<0,001$), у отологически здоровых обследуемых – от 0,76 до 0,96 ($p<0,001$). Заключение. Полученные значения демонстрируют сильную корреляцию между психоакустическими порогами слуха и порогами ASSR у пациентов с СНТ и отологически здоровых обследуемых.

Ключевые слова: сенсоневральная тугоухость, тональная пороговая аудиометрия, слуховой стационарный вызванный потенциал, корреляция

For citation: Noskova VV, Khrabrikov AN. Auditory steady-state evoked potentials in sensorineural hearing loss and normal auditory function. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2025; 21 (3): 254-257. (In Russ.) EDN: AUKPSU. <https://doi.org/doi.org/10.15275/ssmj2103254>

Abstract. Objective: to evaluate the correlation between psychoacoustic hearing thresholds and ASSR (Auditory Steady-State Response) thresholds in patients with sensorineural hearing loss (SNHL) and in otologically healthy subjects. Material and methods. Auditory function was studied in 130 people grouped into 3 groups: group 1 consisted of patients with chronic SNHL ($n=50$), group 2 – patients with acute SNHL ($n=50$), group 3 – otologically healthy subjects ($n=30$). Thresholds were compared when registering tonal threshold audiometry and when registering auditory stationary evoked potentials. Results. The average difference between psychoacoustic hearing thresholds and ASSR thresholds at 4 speech frequencies in patients with SNHL in the right ear was 15 dB normal hearing threshold (NHT; $p=0.005$), in the left ear – 14.4 dB NHT ($p=0.005$), with a minimum difference of 12.3±5.9 dB NHT at 4000 Hz in patients with chronic SNHL in the right ear ($p<0.001$), with a maximum difference of 18.4±8.2 dB NHT at a frequency of 2000 Hz in patients with acute SNHL in the left ear ($p=0.005$). In otologically healthy subjects, the average difference between psychoacoustic hearing thresholds and ASR thresholds at 4 speech frequencies in the right ear was 10 dB NHT, in the left ear – 11.2 dB NHT. The minimum threshold difference was detected at a frequency of 4000 Hz in the right ear (6.5±1.6 dB NHT; $p<0.001$), the maximum at a frequency of 500 Hz in the right ear (14.8±5.8 dB NHT). In patients with SNHL, the correlation coefficient ranged from 0.81 to 0.94 ($p<0.001$) when registering the tonal threshold audiometry and ASSR test. In otologically healthy subjects, the correlation closeness on the Chaddock scale ranged from 0.76 to 0.96 ($p<0.001$). Conclusion. The obtained values demonstrate a significant strong correlation between psychoacoustic hearing thresholds and ASSR thresholds.

Keywords: sensorineural hearing loss, tonal threshold audiometry, auditory stationary evoked potentials, correlation

Введение. Интерес к применению объективных методик оценки слуховой функции при сенсоневральной тугоухости (СНТ) не теряет актуальности в последние десятилетия. С одной стороны, это обусловливается возможностями ранней диагностики и коррекции тугоухости, особенно в детском возрасте, с другой – возможностью объективизации и повышения достоверности полученных результатов. Считается, что одним из перспективных направлений аудиологии, отражающим состояние центральных отделов слухового анализатора, является регистрация реакции мозга на звук обследуемого – слухового стационарного вызванного потенциала – ASSR (Auditory Steady-State Response) [1]. Под последним понимается слуховой электрический ответ, вызванный постоянным модулированным звуковым стимулом. В качестве стимула могут использоваться амплитудно-модулированные тоны, частотно-модулированные тоны, смешанные модулированные тоны и тоны с другими типами модуляций, например Chirp-тоны. Регистрация ASSR возможна при стимуляции через внутриушные телефоны или через динамик в свободном звуковом поле [2, 3]. Традиционно в стимуляции используют несущие частоты 500, 1000, 2000 и 4000 Гц.

Известно, что при регистрации ASSR на стимулы с частотой предъявления 10–20 Гц основной генератор ответа со стороны слухового анализатора – кора головного мозга, на стимулы с частотой предъявления 30–40 Гц генератором ответа выступают как корковые отделы, так и ствол мозга, а при стимуляции с частотой более 70 Гц – только ствол головного мозга. Данный аспект делает возможным проводить исследование у пациентов вне зависимости от возраста и состояния бодрствования [1, 4].

Цель – оценить взаимосвязь между психоакустическими порогами слуха и порогами ASSR у пациентов с СНТ и отолотическими здоровых обследуемых.

Материал и методы. В исследовании приняли участие 130 человек. В процессе наблюдения респонденты были разделены на 3 группы: в 1-ю группу исследования вошли пациенты с хронической СНТ ($n=50$), во 2-ю группу – пациенты с острой СНТ ($n=50$), 3-ю группу исследования составили отолотически здоровые лица ($n=30$). Исследование проводили на основании письменного добровольного согласия. Диагноз «сенсоневральная тугоухость» устанавливался в соответствии с актуальными клиническими рекомендациями.

Критериями включения в исследование стали возраст обследуемых от 18 до 60 лет включительно, установленный диагноз «сенсоневральная тугоухость».

Критериями невключения в исследование стали нарушение слуха по звукопроводящему типу, СНТ травматического, токсического и инфекционного генеза, возраст пациентов до 18 лет и старше 60 лет, наличие тяжелых сопутствующих заболеваний.

Исследование проводили в звукоизолированном помещении. Участники проходили исследование в бодрствующем состоянии и расслабленной позе Фаулера. Определение психоакустических порогов слуха проводили на аудиометре диагностическом AD629 Interacoustics (Interacoustics, Дания) с использованием телефонов (наушников) RadioEar 3045 и костного вибратора RadioEar B71W. Стимулами служили чистые тоны с частотой 500, 1000, 2000 и 4000 Гц и шагом интенсивности 5 дБ.

Для регистрации порогов ASSR использовали многофункциональный компьютерный комплекс «Нейро-Аудио» (ООО «Нейрософт», Россия) с программным обеспечением «Нейро-аудио.NET» версии 1.0.106.1. Воздушные стимулы подавали через телефоны (наушники) Telephonics TDH-39. По алгоритму линейного сумматора Фурье протестированы несущие частоты 500, 1000, 2000 и 4000 Гц. Записи ASSR получены с помощью 4 чашечных электродов, расположенных в стандартных областях (сосцевидных отростках, вертексе, переносье). Перед записью кожу обрабатывали спиртом и абразивной пастой. Межэлектродное сопротивление не превышало 5 кОм. Стимулами служили многочастотные стационарные потенциалы с частотой модуляции 46 Гц, модулированные по амплитуде (глубина модуляции 100%) и частоте (частотная модуляция 20%) с шагом измерения 5 дБ.

Статистический анализ проводили с использованием программы StatTech v. 4.7.3 (разработчик – ООО «Статтех», Россия). Количественные показатели оценивали на предмет соответствия нормальному распределению посредством критерия Шапиро – Уилка (при числе исследуемых менее 50) и критерия Колмогорова – Смирнова (при числе исследуемых более 50).

При нормальном распределении количественные показатели описывали с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений ($\pm SD$), при отсутствии нормального распределения – с применением медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q_1 – Q_3).

Сравнение 3 независимых групп и более по количественному показателю при нормальном распределении выполняли с помощью однофакторного дисперсионного анализа. При сравнении количественных показателей 3 независимых групп и более, распределение которых отличалось от нормального, применяли непараметрический критерий Краскела – Уоллиса. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

В работе для оценки направления и тесноты корреляционной связи между 2 количественными показателями использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена – r_s (при распределении, отличном от нормального). Силу корреляций оценивали по шкале Чеддока: если r_s от 0,3 до 0,5, то корреляция слабая, если r_s от 0,5 до 0,7 – умеренная, r_s от 0,7 до 0,9 – сильная, r_s от 0,9 до 1,0 – очень сильная.

Результаты. Средняя разница между порогами слуха по данным тональной пороговой аудиометрии и регистрации ASSR у пациентов с хронической и острой СНТ на правом ухе составила 15 дБ нормального порога слуха (нПС), на левом ухе – 14,4 дБ нПС, у отолотически здоровых обследуемых на правом ухе – 10 дБ нПС, на левом ухе – 11,3 дБ нПС. Полученные данные показали статистическую значимость ($p < 0,05$; табл. 1).

На основных речевых частотах максимальная разница между средними порогами слуха по данным тональной пороговой аудиометрии и регистрации ASSR у пациентов с хронической СНТ отмечалась на частоте 500 Гц как на правом ухе ($17,5 \pm 7,8$ дБ нПС), так и на левом ухе ($17,8 \pm 7,9$ дБ нПС; табл. 2). Минимальная разница между средними психоакустическими порогами и порогами стационарных слуховых вызванных ответов зарегистрирована на левом ухе на частоте 4000 Гц ($12,3 \pm 5,9$ дБ нПС; $p < 0,001$).

У пациентов с острой СНТ максимальная разница между средними психоакустическими порогами слуха и объективными порогами слуха на основных речевых частотах определялась на правом ухе на

частоте 2000 Гц ($18,4 \pm 8,2$ дБ нПС; $p=0,005$). Минимальная достоверная разница порогов выявилась на правом ухе на частоте 1000 Гц и равнялась $14,6 \pm 9,7$ дБ нПС ($p<0,001$; см. табл. 2).

У отолотически здоровых обследуемых максимальная разница между средними порогами слуха по данным тональной пороговой аудиометрии и порогами слуха по данным регистрации ASSR встречалась на правом ухе на частоте 500 Гц ($14,8 \pm 5,8$ дБ нПС). Минимальная разница между порогами слуха данной

группы наблюдалась также на правом ухе на частоте 4000 Гц ($6,5 \pm 1,6$ дБ нПС; $p<0,001$; см. табл. 2).

Как показывает исследование, достоверно чаще тесную корреляцию выявляли у пациентов с хронической СНТ по сравнению с пациентами с острой СНТ и отолотически здоровыми обследуемыми ($p<0,001$). Наибольшее значение r_s и процент дисперсии обнаружены в 3-й группе исследования на частоте 4000 Гц (r_s справа = 0,97, процент дисперсии = 93,1; r_s слева = 0,96, процент дисперсии = 92,8; табл. 3).

Таблица 1

Средние пороги слуха по данным регистрации тональной пороговой аудиометрии и ASSR-теста на 4 речевых частотах в исследуемых группах, дБ нормального порога слуха, $Me (Q_1-Q_3)$

Сторона наблюдения	Группа			p
	1-я ($n=50$)	2-я ($n=50$)	3-я ($n=30$)	
Правое ухо	15 (12,5–17,5)	14,4 (11,3–19,7)	10 (7,8–15)	$p_{II-I} = 0,005$ $p_{III-I} = 0,001$ $p_{III-II} = 0,005$
Левое ухо	15 (12,5–18,4)	14,4 (10–18,4)	11,3 (8,8–12,5)	$p_{II-I} = 0,005$ $p_{III-I} = 0,001$ $p_{III-II} = 0,001$

Таблица 2

Разница средних порогов слуха по данным тональной пороговой аудиометрии и ASSR-теста на основных речевых частотах в исследуемых группах, дБ нормального порога слуха, $M \pm SD$

Сторона наблюдения	Частота, Гц	Группа			p
		1-я ($n=50$)	2-я ($n=50$)	3-я ($n=30$)	
Правое ухо	500	$17,5 \pm 7,8$	$17,5 \pm 8,5$	$14,8 \pm 5,8$	0,336
	1000	$15,6 \pm 7,1$	$16,3 \pm 5,5$	$11,6 \pm 5,4$	0,028
	2000	$14,8 \pm 7,8$	$18,4 \pm 8,2$	$10,5 \pm 5,9$	0,005
	4000	$15,4 \pm 7,4$	$14,6 \pm 9,7$	$6,5 \pm 1,6$	<0,001
Левое ухо	500	$17,8 \pm 7,9$	$15,8 \pm 7,6$	$14,3 \pm 4,5$	0,053
	1000	$16,8 \pm 7,5$	$16,6 \pm 6,3$	$10,8 \pm 4,3$	0,001
	2000	$15,6 \pm 7,2$	$17,4 \pm 5,3$	$8,8 \pm 2,9$	<0,001
	4000	$12,3 \pm 5,9$	$14,7 \pm 7,8$	$7,0 \pm 2,4$	<0,001

Таблица 3

Корреляция порогов слуха, полученных при регистрации тональной пороговой аудиометрии и ASSR-теста в исследуемых группах

Показатель	Частота, Гц							
	500		1000		2000		4000	
	ухо							
	правое	левое	правое	левое	правое	левое	правое	левое
1-я группа								
r_s	0,87	0,92	0,88	0,92	0,91	0,89	0,87	0,94
Дисперсия, %	77,3	85,5	79,3	86	83,1	80,1	77,9	89,8
p	<0,001							
2-я группа								
r_s	0,88	0,86	0,87	0,84	0,81	0,85	0,91	0,90
Дисперсия, %	77,6	74,3	75,7	71,3	65,8	73,4	82,7	82,5
p	<0,001							
3-я группа								
r_s	0,61	0,80	0,59	0,85	0,76	0,95	0,97	0,96
Дисперсия, %	37,9	64,6	35,3	72,9	58,4	91,3	93,1	92,8
p	<0,001							

В 1-й группе исследования наибольшая корреляция обнаруживалась на левом ухе на частоте 4000 Гц ($r_s=0,94$, процент дисперсии = 89,8). Во 2-й группе исследования очень сильная теснота связи по шкале Чеддока преобладала на правом ухе на частоте 4000 Гц ($r_s=0,91$, процент дисперсии = 82,7). Обращает внимание, что у отолотически здоровых обследуемых на правом ухе на частотах 500 и 1000 Гц теснота корреляционной связи по шкале Чеддока была умеренная ($r_s=0,61$, процент дисперсии = 37,9 и $r_s=0,59$, процент дисперсии = 35,3 соответственно). Все показатели имели статистическую значимость ($p<0,001$).

Обсуждение. Метод регистрации порогов слуха ASSR имеет важное практическое значение для определения частотно-специфической информации при СНТ. Полученные в исследовании результаты демонстрируют наличие сильной корреляции между психоакустическими порогами и порогами ASSR. Эти данные подтверждают выводы в аналогичных исследованиях, опубликованных в литературе за последние годы [2, 5–7]. Так, по данным 2020 г. Е.Е. Савельевой, Г.Ш. Туфатулина и Е.С. Савельева, r_s между порогами ASSR и психоакустическим порогами варьировался от 0,73 до 0,79 ($p<0,001$) [2]. В работе 2002 г. А. Dimitrijevic и соавт. r_s колебался от 0,85 до 0,95, причем минимальная связь обнаруживалась на частоте 500 Гц, максимальная – на частоте 4000 Гц ($p=0,043$) [5]. Такие же данные подтверждают D. Swanepoel, R. Hugo, R. Roode в исследовании 2006 г., где значения r_s варьировались от 0,58 до 0,74, при этом наилучшая корреляция наблюдалась на частоте 1000 Гц, а наихудшая – на частоте 500 Гц [6]. В нашем исследовании значение r_s было наибольшим на частотах 2000 и 4000 Гц. Однако этот факт противоречит некоторым исследованиям, в которых авторы сообщают о более выраженной корреляции на низких частотах [1, 8]. Так, в 2014 г. V. Farias и соавт. наблюдали значительную корреляцию на частотах 500 и 2000 Гц, со значениями r , равными 0,002 и 0,013 соответственно [8].

Заключение. Проведена оценка корреляции между психоакустическими порогами слуха и порогами ASSR в исследуемых группах. Полученные значения демонстрируют сильную корреляцию между психоакустическими порогами слуха и порогами ASSR у пациентов с СНТ и отолотически здоровых обследуемых. Считаем, что регистрацию ASSR можно использовать для достоверной оценки порогов слышимости

в различных случаях, когда невозможно провести субъективное измерение слуха или необходимо его подтвердить.

Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References (Список источников)

1. Tufatulin GSh. The optimal stimulation parameters of the free-field auditory steady-state responses. Russian Bulletin of Otorhinolaryngology. 2020;85(5):18-23. (In Russ.) Туфатулин Г.Ш. Выбор оптимальных параметров стимуляции при регистрации стационарных слуховых вызванных потенциалов в звуковом поле. Вестник оториноларингологии. 2020;85(5):18-23. DOI:10.17116/otorino20208505118
2. Savelieva EE, Tufatulin GSh, Saveliev ES. Auditory evoked potentials on an inpatient basis in clinical practice. Russian Medical Journal. 2020;5:3-8. (In Russ.) Савельева Е.Е., Туфатулин Г.Ш., Савельев Е.С. Стационарные слуховые вызванные потенциалы в клинической практике. РМЖ. 2020;5:3-8.
3. Herdman AT, Lins O, Van Roon P, et al. Intracerebral sources of human auditory steady-state responses. Brain Topogr. 2002;15(2):69-80. DOI:10.1023/a:1021470822922
4. Naumova IV, Gadaleva SV, Pashkov AV. Auditory steady-state responses. Literature review. Rossiiskaya otorinolaringologiya. 2018;3(94):115-29. (In Russ.) Наумова И.В., Гадалева С.В., Пашков А.В. Стационарные слуховые потенциалы. Обзор литературы. Российская оториноларингология. 2018;3(94):115-29. DOI:10.18692/1810-4800-2018-3-115-129
5. Dimitrijevic A, John SM, Van Roon P, et al. Estimating the audiogram using multiple auditory steady-state responses. J Am Acad Audiol. 2002;13(04):205-24. PMID:12025896
6. Swanepoel D, Hugo R, Roode R. Auditory steady-state responses for children with severe to profound hearing loss. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. 2006;130(5):531-5. DOI:10.1001/archotol.130.5.531
7. Lee HS, An JH, Kim YJ, et al. The correlation between pure tone audiometry and auditory steady-state response according to the hearing level and frequency. Korean Journal of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery. 2006;49(6):593-7. DOI:10.1016/j.juro.2013.02.001
8. Farias VB, Sleifer P, Pauletti LF, Krimberg CF. Correlation of the findings of auditory steady-state evoked potential and of behavioral hearing assessment in infants with sensorineural hearing loss. CoDAS. 2014;26(3):226-30. DOI:10.1590/2317-1782/201420140491

Статья поступила в редакцию 27.03.2025; одобрена после рецензирования 03.06.2025; принята к публикации 08.09.2025
The article was submitted 27.03.2025; approved after reviewing 03.06.2025; accepted for publication 08.09.2025

Информация об авторах:

Валентина Владимировна Носкова – старший преподаватель кафедры госпитальной хирургии, noskova.94@bk.ru, ORCID 0009-0006-3544-3508; **Алексей Николаевич Храбриков** – профессор кафедры госпитальной хирургии, доктор медицинских наук, vyatkaent@mail.ru, ORCID 0000-0003-1662-1568.

Information about the authors:

Valentina V. Noskova – Senior Lecturer of the Department of Hospital Surgery, noskova.94@bk.ru, ORCID 0009-0006-3544-3508; **Aleksey N. Khrabrikov** – Professor of the Department of Hospital Surgery, DSc, vyatkaent@mail.ru, ORCID 0000-0003-1662-1568.