

ОТИАТРИЯ

Научная статья

УДК 616.28-008.14:616.28.12/.23-072.1

<https://doi.org/10.18692/1810-4800-2024-5-83-93>

Резидуальная ингибция импульсным шумом тиннитуса различной этиологии

Ф. А. Сыроежкин¹, С. А. Артюшкин², С. Р. Устинов³, Ю. К. Янов⁴, Д. З. Юмакаев⁵

^{1,2,3} Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова, Санкт-Петербург, 191015, Российская Федерация

^{1,4,5} Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург, 194044, Российская Федерация

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи, Санкт-Петербург, 190013, Российская Федерация

¹ sir_fedor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2113-3377>

² sergei.artyushkin@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4482-6157>

³ dr.ustinov23@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0838-329X>

⁴ lor-obchestvo@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9195-128X>

⁵ yumackaev.damir@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4622-9400>

Резюме. Резидуальная ингибция тиннитуса — это временное уменьшение или прекращение шума в ушах после акустической стимуляции. Классический метод определения уровня резидуальной ингибции представляет собой предъявление акустического сигнала (тона или шума) на уровне +10 дБ над минимальным порогом восприятия тиннитуса в течение 30–60 с, после чего регистрируют время возобновления шума в ушах до исходного уровня. В связи с длительностью теста в рутинной клинической практике этот метод широкого распространения не получил. Недавно предложенный вариант акустической стимуляции в виде импульсного сигнала позволяет проводить обследование по определению уровня резидуальной ингибции значительно быстрее и с высокой степенью воспроизводимости результатов. **Цель исследования.** Повышение эффективности дифференциальной диагностики тиннитуса различной этиологии на основании сравнения его психоакустических характеристик (высота, громкость, порог маскира, минимальный уровень маскировки, минимальный уровень резидуальной ингибции) и оценки уровня обременительности шума с помощью анкетирования. **Пациенты и методы.** Проанализированы результаты применения основных психоакустических методов, включая определение уровня резидуальной ингибции с помощью импульсного шума, у 29 пациентов с тиннитусом. В зависимости от предполагаемой причины ушного шума пациенты были разделены на следующие группы: аку-/акубаротравма (1а), применение ототоксических препаратов (1б). Пациенты, причина тиннитуса у которых была не установлена, были разделены по условию наличия сопутствующей тугоухости: пациенты с изолированным тиннитусом (2а), пациенты, у которых ушной шум сочетался с тугоухостью (2б). **Результаты.** Большинство пациентов (25 человек, 86%) достигли полного подавления тиннитуса; у 5 из них (20%) удалось достичь продолжительного эффекта (ушной шум отсутствовал или значительно снизился после 10-секундного периода предъявления акустического стимула). Показан более значительный эффект подавления тиннитуса при бинауральном варианте предъявления акустических стимулов. Для группы пациентов с тиннитусом в сочетании с тугоухостью характерны меньшие пороги исследуемых показателей, чем для группы пациентов с изолированным тиннитусом и группы тиннитуса в сочетании лекарственно-индуцированной тугоухостью в диапазоне выше 2 кГц, причем минимальные уровни порогов для частотного диапазона, где наблюдаются наибольшие пороги слышимости у пациентов с последствиями акубаротравмы, были в пределах наибольшей потери слуха (4 кГц). Обнаружена обратная корреляция между продолжительностью ушного шума и восприимчивостью к его подавлению у пациентов с изолированным тиннитусом. **Заключение.** Использование импульсного шума при оценке резидуальной ингибции у пациентов с ушным шумом имеет ряд несомненных преимуществ перед классической методикой, что позволяет получать воспроизводимые и надежные результаты в исследованиях, направленных на решение вопросов дифференциальной диагностики тинни-

туса. Полученные результаты могут быть применены в дальнейших работах по типированию тиннитуса в зависимости от его причины, продолжительности и сопутствующего нарушения слуховой функции.

Ключевые слова: тиннитус, резидуальная ингибция, импульсный шум, акутравма, тугоухость, маскировка

Для цитирования: Сыроежкин Ф. А., Артюшкин С. А., Устинов С. Р., Янов Ю. К., Юмакаев Д. З. Резидуальная ингибция импульсным шумом тиннитуса различной этиологии. *Российская оториноларингология*. 2024;23(5):83–93. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2024-5-83-93>

OTIOLOGY

Science article

Residual inhibition of tinnitus of various etiologies by impulse noise

F. A. Syroezhkin¹, S. A. Artyushkin², S. R. Ustinov³, Yu. K. Yanov⁴, D. Z. Yumakaev⁵

^{1,2,3} Mechnikov North-Western State Medical University, Saint Petersburg, 191015, Russian Federation

^{1,4,5} Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, 194044, Russian Federation

¹ Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation

¹ sir_fedor@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-2113-3377>

² sergei.artushkin@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4482-6157>

³ dr.ustinov23@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0838-329X>

⁴ lor-obchestvo@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9195-128X>

⁵ yumackaev.damir@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4622-9400>

Abstract. Residual inhibition of tinnitus is a temporary reduction or cessation of tinnitus noise after acoustic stimulation. The classical method for determining the level of residual inhibition is the presentation of an acoustic signal (tone or noise) at a level of +10 dB above the minimum threshold of tinnitus perception for 30–60 s, after which the time for tinnitus to return to the initial level is recorded. Due to the duration of the test, this method has not received wide application in routine clinical practice. A recently proposed version of acoustic stimulation in the form of a pulsed signal allows for a survey to determine the level of residual inhibition much faster and with a high degree of reproducibility of the results. **Objective.** To improve the efficiency of differential diagnostics of tinnitus of various etiologies based on comparison of its psychoacoustic characteristics (pitch, loudness, masker threshold, minimum masking level, minimum residual inhibition level) and assessment of the level of noise burden using questionnaires. **Patients and methods.** The results of application of the main psychoacoustic methods, including determination of residual inhibition level using impulse noise, were analyzed in 29 patients with tinnitus. Depending on the suspected cause of tinnitus, patients were divided into the following groups: acu-/acubarotrauma (1a), use of ototoxic drugs (1b). Patients in whom the cause of tinnitus was not established were divided according to the presence of concomitant hearing loss: patients with isolated tinnitus (2a), patients in whom tinnitus was combined with hearing loss (2b). **Results.** Most patients (25 people, 86%) achieved complete tinnitus suppression. In 5 of them (20%), a long-term effect was achieved (tinnitus was absent or significantly decreased after a 10-second period of presentation of the acoustic stimulus). A more significant tinnitus suppression effect was shown with the binaural version of presentation of acoustic stimuli. The group of patients with tinnitus combined with hearing loss was characterized by lower thresholds of the studied parameters than the group of patients with isolated tinnitus and the group of patients with tinnitus combined with drug-induced hearing loss in the range above 2 kHz. The minimum threshold levels for the frequency range where the highest hearing thresholds are observed in patients with the consequences of acubarotrauma were within the limits of the greatest hearing loss (4 kHz). An inverse correlation was found between the duration of tinnitus and susceptibility to its suppression in patients with isolated tinnitus. **Conclusion.** The use of impulse noise in assessing residual inhibition in patients with tinnitus has a number of undeniable advantages over the classical technique, which allows obtaining reproducible and reliable results in studies aimed at solving the issues of differential diagnosis of tinnitus. The obtained results can be used in further work on tinnitus typing depending on its cause, duration, and concomitant hearing loss. **Key words:** tinnitus, residual inhibition, impulse noise, acoustic trauma, hearing loss, masking

For citation: Syroezhkin F. A., Artyushkin S. A., Ustinov S. R., Yanov Yu. K., Yumakaev D. Z. Residual inhibition of tinnitus of various etiologies by impulse noise. *Russian otorhinolaryngology*. 2024;23(5):83–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2024-5-83-93>

Сокращения и термины

RI (residual inhibition) — резидуальная ингибция

MML (minimal masking level) — минимальный уровень маскировки

MRIL (minimal residual inhibition level) — минимальный уровень резидуальной ингибции

MT (masking threshold) — порог слышимости маскирующего звука

LDL (loudness discomfort level) — уровень дискомфорта громкости

THI (Tinnitus Handicap Inventory) — индекс обременительности (выраженности) тиннитуса

SL (sensation level) — восприятие звука над порогом слышимости

HL (hearing level) — порог слышимости звука

Введение

Ушной шум (тиннитус) является распространенным заболеванием, однако проблема разработки эффективных методов его диагностики и лечения в настоящее время далека от своего решения. Одним из перспективных подходов к подавлению ушного шума считается использование эффектов акустической стимуляции (звуковой терапии). Все более широкое распространение получает применение различных тиннитус-маскеров, совершенствуются программы фильтрации частотного спектра тиннитуса в слуховых аппаратах, разрабатываются различные варианты полимодальной стимуляции при соматосенсорном тиннитусе [1–4]. В основе методов звуковой терапии находятся физиологические феномены, наблюдаемые в слуховой системе при акустической стимуляции: маскировка, латеральное торможение, резидуальная ингибция (residual inhibition, RI). В контексте исследований по аудиологии термину residual inhibition более всего соответствуют русскоязычные варианты перевода, такие как «остаточное торможение», «остаточное подавление», «остаточная маскировка». Чтобы избежать терминологической путаницы далее в тексте будет использован лингвистически заимствованный вариант — резидуальная ингибция тиннитуса.

В настоящее время выделяют 2 основных вида ушного шума: периферический и центральный [5]. С этих позиций патогенетически возможны 3 его варианта (подвида): кохлеарный тиннитус, возникающий вследствие нарушения механоэлектрической передачи в рецепторном аппарате улитки, центральный тиннитус, зависящий от уровня периферической афферентации, и центральный тиннитус, не зависящий от состояния афферентации из улитки [5]. Необходимость определения вида тиннитуса для выбора метода звуковой терапии диктует актуальность разработки новых методов дифференциальной диагностики ушного шума на основании оценки его психоакустических характеристик [6].

На сегодняшний день отсутствуют объективные методы, способные определить степень выраженности ушного шума [7]. В клинической практике применяются субъективные психоакустические методики, основывающиеся на оцен-

ке самим пациентом ряда характеристик ушного шума (тон, громкость, тембр, минимальный уровень маскировки, продолжительность резидуальной ингибции), и методы анкетирования, учитывающие психологическое восприятие тиннитуса пациентом (обременительность) [8–11]. Однако тон, громкость и тембр тиннитуса могут меняться со временем, а также зависеть от психологического реагирования пациента на сам шум [12, 13]. Кроме того, указанные характеристики ушного шума не являются специфичными для того или иного вида тиннитуса [14]. Другие психоакустические характеристики ушного шума — минимальный уровень маскировки (minimal masking level, MML) и резидуальная ингибция — являются более постоянными величинами, в связи с чем оценка этих параметров перспективна для разработки методов диагностики тиннитуса [6, 8, 15, 16]. Для определения минимального уровня маскировки (наиболее низкий уровень маскира по интенсивности, необходимый для подавления шума в ушах) используют чистые тоны и различные акустические стимулы (узко- или широкополосные шумы). Резидуальная ингибция тиннитуса — это временное уменьшение или прекращение шума в ушах после длительной акустической стимуляции. Классический метод определения уровня резидуальной ингибции представляет собой предъявление акустического сигнала (тона или шума) на уровне +10 дБ над минимальным порогом восприятия тиннитуса в течение 30–60 с, после чего регистрируют время возобновления шума в ушах до исходного уровня. Учитывая необходимость использования звуков не менее 2 частот, в среднем подобное исследование занимает около 1 ч [17]. Из-за длительности теста в рутинной клинической практике этот метод широкого распространения не получил. Недавно предложенный вариант акустической стимуляции в виде импульсного сигнала позволяет проводить обследование по определению уровня резидуальной ингибции значительно быстрее и с высокой степенью воспроизводимости результатов [15]. В этой связи становится перспективным исследование резидуальной ингибции тиннитуса различной этиологии импульсным шумом, что может быть использовано при дальнейшем выборе метода звуковой терапии.

Цель исследования

Повышение эффективности дифференциальной диагностики тиннитуса различной этиологии на основании сравнения его психоакустических характеристик (высота, громкость, порог маскира, минимальный уровень маскировки, минимальный уровень резидуальной ингибиции) и оценки уровня обременительности шума с помощью анкетирования.

Пациенты и методы исследования

Обследовано 32 взрослых пациента с жалобами на шум в ушах. Критерием включения в исследование было наличие субъективного ушного шума (одно- или двустороннего) продолжительностью более 6 мес. Помимо изолированного ушного шума в исследование также были включены пациенты, у которых ушной шум сочетался с тугоухостью I–III степени (нейросенсорной, ототоксической, вызванной последствиями акустической травмы, возрастной). В исследования не включали пациентов, имеющих другие заболевания уха, кроме указанных, объективный ушной шум, «катастрофический» субъективный ушной шум (более 76 баллов по THI), органические заболевания головного мозга. В исследования не включали также пациентов, получающих лечение, способное оказать влияние на функцию центральной нервной системы. Критериями исключения из исследования были: непереносимость акустической стимуляции либо усиление тиннитуса после пробного сеанса предъявления импульсного шума, утрата интереса к участию в исследовании.

На этапе отбора пациентов для исследования проводили сбор анамнестических данных и оториноларингологический осмотр. При описании ушного шума уточняли его частотный диапазон, постоянный или меняющийся, одно-/двухтональный в случаях восприятия тонального шума. Оториноларингологический осмотр включал отомикроскопию наружного слухового прохода и барабанной перепонки, осмотр полости носа и носоглотки с помощью эндоскопов. В ходе отбора и в последующем из исследования выбыли 3 человека. Таким образом, для реализации цели исследования анализировали результаты обследования 29 пациентов (12 женщин и 17 мужчин; средний возраст — 47 [35, 57] лет).

Пациенты были разделены на следующие группы в зависимости от предполагаемой причины ушного шума: аку-/акубаротравма (1а), применение ототоксических препаратов (1б). Пациенты, причина тиннитуса у которых была не установлена, были разделены по условию наличия сопутствующей тугоухости: пациенты с изолированным тиннитусом (2а) и пациенты, у которых ушной шум сочетался с тугоухостью (2б).

Для оценки состояния слуховой функции

применяли тональную пороговую аудиометрию. Порог слышимости в случае тугоухости определяли рутинным методом с использованием клинического аудиометра AC40 (Interacoustics, Дания) в диапазоне от 0,25 до 8 кГц и дополнительно — на 10 и 12,5 кГц у пациентов с нормальным слухом. Для оценки характеристик шума использовали методы психоакустической шумометрии. Определяли высоту тиннитуса, его громкость и ряд показателей, связанных с маскировкой ушного шума и временным его подавлением вследствие феномена резидуальной ингибиции: MML и минимальный уровень резидуальной ингибиции (minimal residual inhibition level, MRIL).

При исследовании тиннитуса по высоте каждому участнику последовательно предъявляли белый шум, узкополосный шум и чистый тон. Затем испытуемого просили указать, какой из звуков больше всего похож на его шум в ушах. Если пациентом был выбран белый шум, поиск высоты тона далее не проводили; стимуляцию в последующих тестах у таких пациентов осуществляли с помощью белого шума. Во всех других случаях подбор частоты звука начинали на частоте 4 кГц с предъявлением узкополосного шума на уровне выше порога слышимости. В зависимости от ответов пациента частота звука уменьшалась/увеличивалась, пока обследуемый не сообщал, что высота предъявляемого звука была аналогична высоте тиннитуса. При невозможности определить высоту тиннитуса маскировка и оценка параметров резидуальной ингибиции осуществлялись с помощью белого шума. Для оценки громкости тиннитуса звук, соответствующий тиннитусу по высоте (или белый шум), предъявляли на уровне порога слышимости (masking threshold, MT), а затем увеличивали с шагом 1 дБ до тех пор, пока испытуемый не сообщал, что подаваемый звук был равен по громкости воспринимаемому тиннитусу. Далее уровень звука снова повышали и определяли MML — минимальный уровень звука, при котором пациент переставал слышать ушной шум. Если для определения высоты и громкости тиннитуса в качестве акустического сигнала использовали тон, то оценку MML проводили с помощью узкополосного шума, центральная частота которого была равна частоте тона.

Оценку MRIL проводили по методике, предложенной P. Fournier и соавт. (2018) [15]. В качестве акустического материала использовали последовательность звуков, состоящую из повторяющихся узкополосных/белых шумов фиксированной продолжительности (3 с) и фиксированного межстимульного интервала (1 с) на частоте, соответствующей высоте ушного шума (рис. 1). Акустическую стимуляцию осуществляли через наушники клинического аудиометра AC40 (Interacoustics, Дания) после калибровки выход-

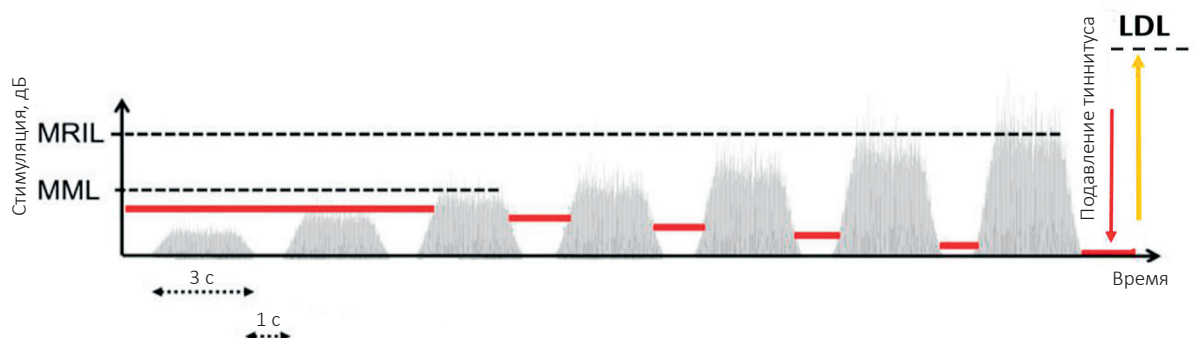


Рис. 1. Схема импульсной акустической стимуляции для оценки психоакустических характеристик тиннитуса [15] (в модификации; MML — минимальный уровень маскировки, MRIL — минимальный уровень резидуальной ингибиции)

Fig. 1. The scheme of pulsed acoustic stimulation for assessing the psychoacoustic characteristics of tinnitus [15] (modified; MML — minimal masking level, MRIL — minimal residual inhibition level)

ного сигнала. Параметры стимуляции задавались с помощью программного обеспечения MATLAB (MathWorks, США). В начале исследования повторно измеряли MT и MML, но в условиях нового (импульсного) варианта стимуляции. Уровень звуков повышали с шагом 3 дБ до тех пор, пока обследуемые не сообщали, что перестают слышать шум в ушах во время предъявления стимулов (эффект маскировки в момент стимуляции). Затем уровень повышали до тех пор, пока не был достигнут показатель MRIL: обследуемые сообщали, что перестают воспринимать ушной шум в период 1-секундных пауз между стимулами в течение не менее 10 с. Степень подавления тиннитуса пациенты оценивали по 6-значной шкале Ликерта (от 0 до 5), где 5 соответствовало ощущению «полное подавление» (отсутствие восприятия) тиннитуса, 0 — «без изменений» (уровень ушного шума оставался на исходном уровне). Для оценки гиперacusии при тиннитусе всем пациентам был определен уровень дискомфортной громкости (loudness discomfort level, LDL) на частотах, на которых оценивали MML и MRIL. Уровень LDL определяли на последнем этапе аудиологического исследования, повышая уровень стимуляции с шагом 3 дБ до появления сообщения от пациента о неприятном характере воспринимаемого шума. В случаях, когда уровень стимуляции превышал 70 дБ над порогом исследуемой частоты, оценку уровня LDL прекращали и результат расценивали как отсутствие LDL. Указанная последовательность оценки психоакустических характеристик ушного шума далее реализовывалась на частотах 0,5, 1, 2, 3, 4, 6, 8 кГц у пациентов с наличием тугоухости и дополнительно на 10 и 12,5 кГц — у пациентов с нормальными порогами тонального слуха. Оценка полной последовательности применения методик психоакустической шумомерии (определение высоты и громкости тиннитуса, MT, MML, MRIL и LDL) занимала от 2 до 5 мин для каждой из исследуемых частот. С учетом времени проведения пороговой тональной

аудиометрии и анкетирования исследование занимало около 30 мин.

Для оценки уровня обременительности ушного шума (психоэмоциональных расстройств, вызванных шумом в ушах) было проведено анкетирование с помощью русскоязычного варианта опросника Tinnitus Handicap Inventory (THI).

Статистическая обработка полученных данных проведена при помощи пакетов программ Excel 2010 (Microsoft, США). Все данные представлены в виде медианы с указанием значений 1-го и 3-го квартилей (Me [Q1; Q3]). Психоакустические параметры тиннитуса рассчитывались исходя из их надпорогового значения (sensation level, SL). Использовались методы непараметрической статистики. Для оценки наличия статистически значимых различий между двумя независимыми группами использовался критерий Манна—Уитни, корреляционный анализ проводили с использованием коэффициента Спирмена. Различия между показателями считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Распределение пациентов по группам было следующим:

- тиннитус как следствие аку/акубаротравмы — 8 человек (28%), из них 5 человек с моноауральным и 3 человека с бинауральным поражением;
- лекарственно-индуцированный двусторонний тиннитус — 5 человек (17%);
- изолированный тиннитус — 7 человек (24%), из них 3 человека с моноауральным и 4 человека с бинауральным поражением;
- тиннитус в сочетании с двусторонней тугоухостью — 9 человек (31%), из них у 1 человека тиннитус присутствовал только с одной стороны (односторонний тиннитус).

При сборе анамнеза было выявлено, что возникновение шума в ушах пациенты связывали преимущественно со стрессовыми факторами

Основные психоакустические характеристики тиннитуса и уровень THI
The main psychoacoustic characteristics of tinnitus and THI level

Показатель	Группы пациентов				Общее значение
	1a	1b	2a	2b	
Возраст, лет	34 [29; 38]	35 [27; 42]	42 [35; 54]	52 [45; 67]	47 [35; 57]
Продолжительность тиннитуса, месяцы	11 [7; 13]	32 [14; 38]	28 [20; 30]	42 [36; 62]	36 [8; 64]
Высота тиннитуса, кГц	4 [3,5; 4,5]	2 [2; 4]	4 [2; 6]	6 [4; 6]	6 [4; 6]
MT, дБ (HL)	60 [56; 65]	65 [52; 67]	18 [10; 22]	56 [45; 68]	45 [40; 65]
MML, дБ	26 [23; 29]	10 [8; 15]	38 [35; 42]	12 [10; 15]	15 [8; 14]
MRIL, дБ	31 [27; 35]	15 [15; 18]	45 [40; 50]	20 [15; 24]	26 [12; 30]
LDL, дБ	35 [30; 37]	18 [12; 18]	62 [54; 65]	28 [25; 32]	38 [37; 45]
THI	27 [19; 36]	29 [20; 35]	30 [20; 45]	28 [20; 36]	28 [20; 42]

(18 человек). Чаще всего субъективный тиннитус беспокоил пациентов с длительностью больше 1 года (18 человек) и от 6 месяцев до 1 года (11 человек). У 10 человек (34%) были отмечены периодически возникающие головные боли, боли в области шеи — у 5 человек (17%) преимущественно после психофизических нагрузок.

Анализ результатов пороговой аудиометрии показал различия в форме аудиометрических кривых у пациентов с понижением слуха: нисходящий вид кривой у пациентов с хронической тугоухостью и плоская форма с локальным повышением порогов слышимости в пределах 6 кГц у пациентов с последствиями акутравмы. При оценке психоакустических характеристик ушного шума пороги MT и MMT были зарегистрирова-

ны у всех пациентов на всех частотах. Один пациент из группы лекарственно-индуцированной тугоухости определил характер своего шума как белый, поэтому его данные по высоте были исключены из анализа. Еще одна пациентка (группа «тиннитус, сочетающийся с тугоухостью») не смогла определить его тональность, поэтому показатели этого параметра также были исключены из исследования. Другие показатели этих пациентов были определены при предъявлении белого шума. У одного пациента с односторонней тугоухостью после акутравмы не удалось определить уровень дискомфорта на частоте тиннитуса, в то время как на противоположное ухо уровень дискомфортной громкости зарегистрирован на всех частотах. У 2 пациентов (6%) на некоторых

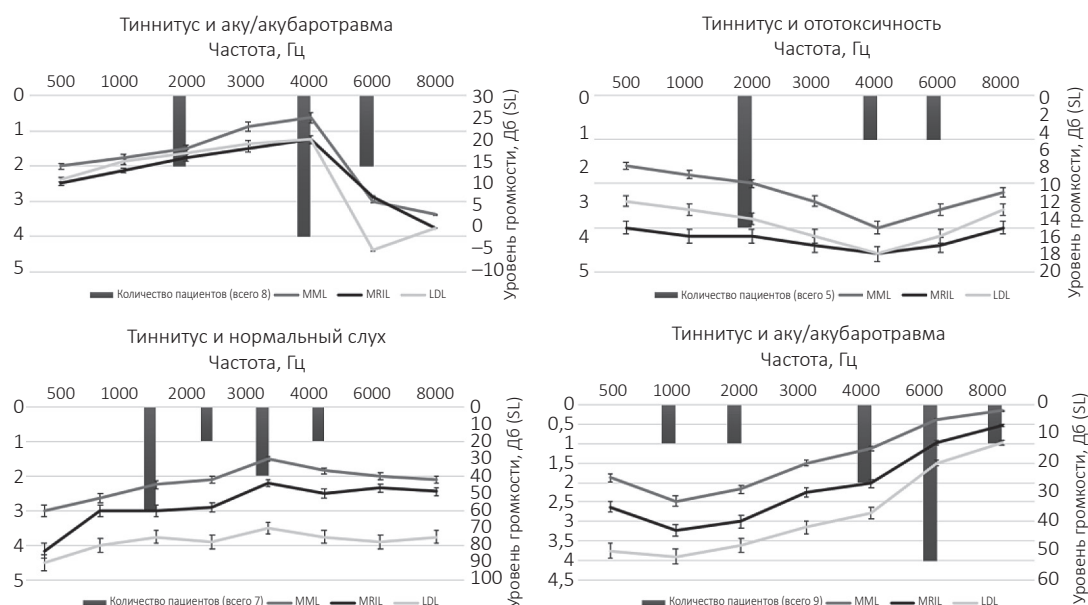


Рис. 2. Психоакустические характеристики пациентов по группам. Черными прямоугольниками обозначено количество пациентов и преобладающая частота восприятия тиннитуса

Fig. 2. Psychoacoustic data of patients in groups. The black rectangles indicate the number of patients with dominant frequency of tinnitus perception

частотах не удалось достичь MRIL: пациент с изолированным тиннитусом и пациент после ототоксического поражения. Психоакустические характеристики тиннитуса обследованных пациентов в группах и уровень THI приведены в таблице.

Динамика изменения исследуемых психоакустических показателей ушного шума в зависимости от тестируемых частот в группах представлена на рис. 2. Анализ кривых и результаты межгруппового сравнения показали, что для группы пациентов с тиннитусом в сочетании с тугоухостью характерны меньшие пороги исследуемых показателей, чем для группы пациентов с изолированным тиннитусом и группы тиннитуса в сочетании с лекарственно-индуцированной тугоухостью в диапазоне выше 2 кГц ($p = 0,0015$ и $p = 0,0215$ соответственно). Также обращают на себя внимание минимальные уровни порогов для частотного диапазона, где наблюдаются наибольшие пороги слышимости у пациентов с последствиями акубаротравмы (4 кГц).

При одностороннем тиннитусе MRILbi был ниже MRILipsi ($p = 0,015$). Ввиду небольшого количества пациентов (9 человек) межгруппового сравнения не проводилось. Тем не менее наличие различия позволяет утверждать о более значительном эффекте подавления при бинауральном варианте предъявления акустических стимулов.

Исследование степени подавления тиннитуса показало, что большинство пациентов (25 человек, 86%) достигли полного подавления, причем у 5 из них (20%) удалось достичь продолжительного эффекта (ушной шум отсутствовал или значительно снизился после 10-секундного периода предъявления акустического стимула). Продолжительность этого периода составила от (15 с до 2 мин 30 с). Продолжительность тиннитуса пациентов со стойким эффектом подавления тиннитуса была менее 2 лет (10 [8; 18] мес). Более того, наблюдалась обратная корреляция между продолжительностью ушного шума и восприимчивостью к его подавлению у пациентов из группы изолированного тиннитуса ($r = -0,76$, $p = 0,024$). У 3 пациентов из этой группы (43%), несмотря на максимальное значение стимуляции, не удалось достичь полного подавления тиннитуса. Оценка порога дискомфорта у пациентов этой группы показала, что разница между этим значением и порогом восприятия маскира (MT) отличалась ($p = 0,13$) и была больше, чем в других группах. Однако уровень LDL достигался на меньших уровнях, чем это можно было предполагать у обследуемых с нормальным слухом, что объясняется возможным наличием феномена центрального усиления у пациентов этой группы. При исследовании связи между MML и MRIL была выявлена значительная корреляция вне зависимости от частоты стимуляции ($p < 0,001$).

Средние различия для исследуемых частот варьировались от 7 до 11 дБ. Это позволяет предположить, что уровень стимуляции, необходимый для достижения эффекта резидуальной ингибиции, добавленный к уровню MML, является неизменным (около 10 дБ).

Обсуждение

В настоящем исследовании определение уровня восприятия субъективного ушного шума выполнено с применением новой психоакустической методики резидуальной ингибиции тиннитуса. Особенностью этой методики явилось использование в качестве акустического стимула импульсного шума, который предъявляли пациентам с тиннитусом, чередуя кратковременный узкополосный шум и тишину (отсутствие сигнала) [15]. Этиология ушного шума была различной: акустическая травма, токсическое воздействие лекарственных препаратов на рецепторный аппарат улитки; однако в большинстве случаев (у 55% пациентов) определенной причины возникновения ушного шума установлено не было.

Полный эффект подавления ушного шума был достигнут у большинства пациентов (86%). Некоторые свойства резидуальной ингибиции при классическом варианте предъявления акустического стимула подробно описаны в работах разных исследователей, что сохраняет свою актуальность для импульсного варианта стимуляции:

- наибольший эффект резидуальной ингибиции (по глубине и продолжительности) наблюдается при использовании маскирующего сигнала, центральная частота которого равна или близка к доминирующей частоте шума в ушах [15, 20];
- при наличии сопутствующей тугоухости наиболее предпочтительным диапазоном частот является область потери слуха, а также локальное снижение слуха в виде «зубца» на аудиограмме, которое совпадает с высотой тиннитуса [22, 23];
- чем больше длительность предъявления маскирующего шума, тем более продолжительным является эффект резидуальной ингибиции [24];
- лишь небольшая часть пациентов (5,8–13,3%) отмечают усиление тиннитуса после проведенных тестов по оценке резидуальной ингибиции [25, 26].

Помимо очевидного преимущества в виде значительно меньших временных затрат на обследование импульсный шум может оказывать быстрое (в течение нескольких минут) кумулятивное воздействие на слуховую систему, что может привести к дальнейшему снижению уровня MRIL и увеличить продолжительность резидуальной ингибиции.

Выделение видов ушного шума — периферического или центрального — делает актуальным изучение резидуальной ингибиции для диффе-

ренциальной диагностики тиннитуса. В нашем исследовании использование бинауральной маскировки при одностороннем ушном шуме показало более низкий уровень MRIL по сравнению со стимуляцией только на стороне тиннитуса ($p < 0,05$). Это согласуется с обнаруженной нами ранее закономерностью при оценке эффективности бимодальной стимуляции с помощью белого шума [27]. Некоторые авторы предполагают, что эффект от ипсилатеральной стимуляции в случае одностороннего тиннитуса может указывать на периферическое происхождение шума в ушах, тогда как контралатеральная маскировка может свидетельствовать в пользу центрального его происхождения. Показано, что шум в ушах центрального происхождения имеет более высокую степень подавления, нежели чем периферический шум в ушах [21]. В настоящем исследовании было отмечено, что у большинства (75%) пациентов с частичным подавлением тиннитуса отсутствовало нарушение слуховой функции. Невозможность достижения полного подавления шума в ушах при нормальных порогах слуха даже посредством интенсивной стимуляции можно объяснить участием центральных структур нервной системы в поддержании тиннитуса. В то же время у пациентов с наличием тугоухости при коротком периоде заболевания (менее 2 лет) наблюдались полное подавление ушного шума, а также эффект, регистрируемый даже после завершения акустической стимуляции.

Схожая тенденция описана в других исследованиях, в которых пациенты с частичным подавлением тиннитуса имели самую высокую продолжительность шума в ушах по сравнению с пациентами, у которых наблюдали полный эффект подавления. Также было показано наличие обратной корреляции степени подавления тиннитуса и продолжительности ушного шума у пациентов с изолированным ушным шумом [16]. Возможным объяснением наблюдаемых закономерностей может быть вовлечение центральных структур слуховой системы в механизмы поддержания тиннитуса. Более высокие уровни MRIL у пациентов с изолированным тиннитусом при отсутствии признаков феномена ускоренного нарастания громкости (разница между MT и LDL была сопоставима с этим параметром в других группах, $p > 0,05$) может быть дополнительным аргументом в пользу участия слуховых и неслуховых структур центральной нервной системы.

Нейрональные изменения, связанные с резидуальной ингибцией тиннитуса, были исследованы многими авторами с использованием классического метода измерения [28–30]. На основании взглядов, связывающих шум в ушах и повышенную спонтанную активность в слуховой

системе, было сделано предположение о подавлении этой измененной активности акустической стимуляцией, что обуславливает эффект резидуальной ингибции. Снижение спонтанной активности воспринималось пациентами как уменьшение или подавление шума в ушах в отсутствие стимулов. Другие исследования показывают, что акустический стимул связан с определенным паттерном реагирования в слуховой системе во время его предъявления [31, 32]. По окончании стимуляции возникают стойкие изменения в функциональной активности нейронных связей. Это так называемая нейронная адаптация, которая зарегистрирована как на периферическом, так и на центральном уровне после акустической стимуляции. Она может сохраняться некоторое время после длительной акустической стимуляции, влияя тем самым на частоту как стимул-вызванных, так и спонтанных разрядов нейронов [33]. Стимуляция импульсным шумом может спровоцировать более быструю и длительную адаптацию, приводящую к снижению вызванной и спонтанной активности [28].

Кроме того, импульсный шумовой сигнал сам по себе может быть использован в качестве терапевтического сигнала. Пациенты с полным и продолжительным эффектом резидуальной ингибции имеют хороший прогноз для применения любого метода звуковой терапии, например использования слуховых аппаратов или аудиомаскеров [34, 35]. Таким образом, разные типы нейрофизиологической адаптации могут объяснять разные степени подавления ушного шума. Это будет иметь значение для формирования лечебной тактики тиннитуса: совершенствования звуковой терапии или поиска других методов, вызывающих процессы нейромодуляции на уровне центральных отделов слуховой системы и структур, не связанных с обработкой звуковой информации.

Заключение

Использование импульсного шума при оценке резидуальной ингибции у пациентов с ушным шумом имеет ряд несомненных преимуществ перед классической методикой, что позволяет получать воспроизводимые и надежные результаты в исследованиях, направленных на решение вопросов дифференциальной диагностики тиннитуса. Полученные результаты могут быть применены в дальнейших работах по типированию тиннитуса в зависимости от его причины, продолжительности и сопутствующего нарушения слуховой функции. Выделение признаков, позволяющих определить показания к звуковой терапии, сделает возможным также прогнозировать ее результаты у конкретного пациента.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Kalle S., Schlee W., Pryss R. C., Probst T., Reichert M., Langguth B., Spiliopoulou M. Review of Smart Services for Tinnitus Self-Help, Diagnostics and Treatments. *Front Neurosci.* 2018. Aug 20;12:541. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00541>
2. Tang D., Li H., Chen L. Advances in Understanding, Diagnosis, and Treatment of Tinnitus. *Adv Exp Med Biol.* 2019;1130:109-128. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6123-4_7
3. McNeill C., Távora-Vieira D., Alnafjan F., Searchfield G. D., Welch D. Tinnitus pitch, masking, and the effectiveness of hearing aids for tinnitus therapy. *Int J Audiol.* 2012 Dec;51(12):914-919. <https://doi.org/10.3109/14992027.2012.721934>
4. Tyler R. S., Stocking C., Ji H., Witt S., Mancini P. C. Tinnitus Activities Treatment with Total and Partial Masking. *J Am Acad Audiol.* 2021 Sep;32(8):501-509. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1731698>
5. Noreña A. J. Revisiting the cochlear and central mechanisms of tinnitus and therapeutic approaches. *Audiol Neurotol.* 2015;20 Suppl 1:53-59. <https://doi.org/10.1159/000380749>
6. Santacruz J. L., de Kleine E., van Dijk P. Investigating the relation between minimum masking levels and hearing thresholds for tinnitus subtyping. *Prog Brain Res.* 2021;263:81-94. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2021.04.011>
7. McFerran D. J., Stockdale D., Holme R., Large C. H., Baguley D. M. Why Is There No Cure for Tinnitus? *Front Neurosci.* 2019. Aug 6;13:802. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00802>
8. Daoud E., Enzler F., Fournier P., Noreña AJ. Reliability of some tinnitus psychoacoustic measures. *Frontiers in Audiology and Otology.* 2024. <https://doi.org/10.3389/fauot.2023.1298936>
9. Basile C. É., Fournier P., Hutchins S., Hébert S. Psychoacoustic assessment to improve tinnitus diagnosis. *PLoS One.* 2013. Dec 12;8(12):e82995. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082995>
10. Möller A. R., Langguth B., DeRidder D., Kleinjung T. Textbook of Tinnitus. New York: Springer New York, 2011. 785 p.
11. Савенко И. В., Гарбарук Е. С., Бобошко М. Ю. Психоакустические методы в диагностике нарушений центральной слуховой обработки у детей, родившихся недоношенными. *Вестник оториноларингологии.* 2020;85(3):11–17. <https://doi.org/10.17116/otorino20208503111>
Savenko I. V., Garbaruk E. S., Boboshko M. Yu. Psychoacoustic methods in diagnosis of central auditory processing disorders in prematurely born children. *Russian Bulletin of Otorhinolaryngology.* 2020;85(3):11-17. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/otorino20208503111>
12. Noreña A., Micheyl C., Chéry-Croze S., Collet L. Psychoacoustic characterization of the tinnitus spectrum: implications for the underlying mechanisms of tinnitus. *Audiol Neurotol.* 2002 Nov-Dec;7(6):358-369. <https://doi.org/10.1159/000066156>
13. Durai M., O'Keeffe M. G., Searchfield G. D. Examining the short term effects of emotion under an Adaptation Level Theory model of tinnitus perception. *Hear Res.* 2017. Mar;345:23-29. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.12.013>
14. Vajsakovic D., Maslin M., Searchfield G. D. Principles and Methods for Psychoacoustic Evaluation of Tinnitus. *Curr Top Behav Neurosci.* 2021;51:419-459. https://doi.org/10.1007/7854_2020_211
15. Fournier P., Cuvillier A. F., Gallego S., Paolino F., Paolino M., Quemar A., Londero A., Noreña A. A New Method for Assessing Masking and Residual Inhibition of Tinnitus. *Trends Hear.* 2018. Jan-Dec;22:2331216518769996. <https://doi.org/10.1177/2331216518769996>
16. Hu S., Anschuetz L., Hall D. A., Caversaccio M., Wimmer W. Susceptibility to Residual Inhibition Is Associated With Hearing Loss and Tinnitus Chronicity. *Trends Hear.* 2021. Jan-Dec;25:2331216520986303. <https://doi.org/10.1177/2331216520986303>
17. Henry J. A., Meikle M. B. Psychoacoustic measures of tinnitus. *J Am Acad Audiol.* 2000 Mar;11(3):138-155.
18. Jin I. K., Tyler R. S. Measuring tinnitus in pharmaceutical clinical trials. *J Acoust Soc Am.* 2022. Dec;152(6):3843. <https://doi.org/10.1121/10.0014699>
19. Tyler R. S., Conrad-Armes D., Smith P. A. Postmasking effects of sensorineural tinnitus: a preliminary investigation. *J Speech Hear Res.* 1984. Sep;27(3):466-474. <https://doi.org/10.1044/jshr.2703.466>
20. Roberts L. E., Moffat G., Baumann M., Ward L. M., Bosnyak D. J. Residual inhibition functions overlap tinnitus spectra and the region of auditory threshold shift. *J Assoc Res Otolaryngol.* 2008. Dec;9(4):417-35. <https://doi.org/10.1007/s10162-008-0136-9>
21. Bourez P. H., Fournier P., Noreña A. J. The difference in poststimulus suppression between residual inhibition and forward masking. *Prog Brain Res.* 2021;262:23-56. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2020.08.010>
22. Eggermont J. J., Roberts L. E. Tinnitus: animal models and findings in humans. *Cell Tissue Res.* 2015 Jul;361(1):311-36. <https://doi.org/10.1007/s00441-014-1992-8>
23. Roberts L. E. Residual inhibition. *Prog Brain Res.* 2007;166:487-495. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(07\)66047-6](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(07)66047-6)
24. Terry A. M., Jones D. M., Davis B. R., Slater R. Parametric studies of tinnitus masking and residual inhibition. *Br J Audiol.* 1983 Nov;17(4):245-256. <https://doi.org/10.3109/03005368309081485>
25. Roberts L. E., Moffat G., Baumann M., Ward L. M., Bosnyak D. J. Residual inhibition functions overlap tinnitus spectra and the region of auditory threshold shift. *J Assoc Res Otolaryngol.* 2008 Dec;9(4):417-435. <https://doi.org/10.1007/s10162-008-0136-9>
26. Perez-Carpena P., Bibas A., Lopez-Escamez J. A., Vardonikolaki K., Kikidis D. Systematic review of sound stimulation to elicit tinnitus residual inhibition. *Prog Brain Res.* 2021;262:1-21. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2021.01.020>
27. Сыроежкин Ф. А., Никитин Н. И., Дворянчиков В. В., Голанов А.Е., Морозова М. В., Летягин А.И. Современные представления об ушном шуме в аспекте нейропластичности: перспективы применения слуховой тренировки. *Вестник Российской Военно-медицинской академии.* 2015;3(51):94–98.

- Syroezhkin F. A., Nikitin N. I., Dvorianchikov V. V., Golovanov A. E., Morozova M. V., Letyagin A. I. Teural plasticity in current tinnitus conception: opportunity for audial training. *Vestnik of Russian Military Medical Academy*. 2015;3(51):94-98. (In Russ.)
28. Sedley W., Gander P. E., Kumar S., Oya H., Kovach C. K., Nourski K. V., Kawasaki H., Howard M. A. 3rd, Griffiths T. D. Intracranial Mapping of a Cortical Tinnitus System using Residual Inhibition. *Curr Biol*. 2015. May 4;25(9):1208-1214. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.02.075>
 29. Hu S., Anschuetz L., Huth M. E., Sznitman R., Blaser D., Kompis M., Hall D. A., Caversaccio M., Wimmer W. Association Between Residual Inhibition and Neural Activity in Patients with Tinnitus: Protocol for a Controlled Within- and Between-Subject Comparison Study. *JMIR Res Protoc*. 2019 Jan 9;8(1):e12270. <https://doi.org/10.2196/12270>
 30. King R. O. C., Singh Shekhawat G., King C., Chan E., Kobayashi K., Searchfield G. D. The Effect of Auditory Residual Inhibition on Tinnitus and the Electroencephalogram. *Ear Hear*. 2021 Jan/Feb;42(1):130-141. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000907>
 31. Ingham N. J., Itatani N., Bleeck S., Winter I. M. Enhancement of forward suppression begins in the ventral cochlear nucleus. *Brain Res*. 2016 May 15;1639:13-27. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.02.043>
 32. Alves-Pinto A., Baudoux S., Palmer A. R., Sumner C. J. Forward masking estimated by signal detection theory analysis of neuronal responses in primary auditory cortex. *J Assoc Res Otolaryngol*. 2010 Sep;11(3):477-494. <https://doi.org/10.1007/s10162-010-0215-6>
 33. Galazyuk A. V., Voytenko S. V., Longenecker R. J. Long-Lasting forward Suppression of Spontaneous Firing in Auditory Neurons: Implication to the Residual Inhibition of Tinnitus. *J Assoc Res Otolaryngol*. 2017 Apr;18(2):343-353. <https://doi.org/10.1007/s10162-016-0601-9>
 34. Гилаева А. Р., Мосихин С. Б., Сафиуллина Г. И. Аудиологические характеристики пациентов в зависимости от выраженности тиннитуса. *Российская оториноларингология*. 2021;20(4):15–20. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-4-15-20>
Gilaeva A. R., Mosikhin S. B., Safiullina G. I. Audiological characteristics in patients with varying severity of tinnitus. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2021;20(4):15-20. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-4-15-20>
 35. Владимирова Т. Ю., Айзенштадт Л. В., Шелыхманова М. В. Комплексный подход к лечению тиннитуса у пациентов старшей возрастной группы. *Российская оториноларингология*. 2023;22(3):32–39. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2023-3-32-39>
Vladimirova T. Yu., Aizenshtadt L. V., Shelykmanova M. V. Comprehensive approach to treatment of tinnitus in patients of older age group. *Russian Otorhinolaryngology*. 2023;22(3):32-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2023-3-32-39>

Вклад авторов:

Концепция и дизайн исследования — Ф. А. Сыроежкин
Сбор и обработка материала — С. Р. Устинов, Д. З. Юмакаев
Статистическая обработка данных — С. Р. Устинов, Д. З. Юмакаев
Написание текста — Ф. А. Сыроежкин, С. Р. Устинов
Редактирование — С. А. Артюшкин, Ю. К. Янов

Contribution of authors:

Concept and study design — F. A. Syroezhkin
Data collection — S. R. Ustinov, D. Z. Yumakaev
Statistical data processing — S. R. Ustinov, D. Z. Yumakaev
Text writing — F. A. Syroezhkin, S. R. Ustinov
Editing — S. A. Artyushkin, Yu. K. Yanov

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Информация об авторах

Сыроежкин Федор Анатольевич — доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры оториноларингологии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова (191015, Россия, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41В); Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова (194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6); Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Россия, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); sir_fedor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2113-3377>

Артюшкин Сергей Анатольевич — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой оториноларингологии, проректор по учебной работе, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова (191015, Россия, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41В); sergei.artyushkin@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4482-6157>

Устинов Сергей Робертович — аспирант кафедры оториноларингологии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова (191015, Россия, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41В); dr.ustinov23@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0838-329X>

Янов Юрий Константинович — доктор медицинских наук, академик РАН, профессор, профессор кафедры оториноларингологии, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова (194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6); <https://orcid.org/0000-0001-9195-128X>

Юмакаев Дамир Забинович — адъюнкт кафедры оториноларингологии, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова (194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6); yumackaev.damir@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4622-9400>

Information about authors

Fedor A. Syroezhkin — Doctor of Sciences (Med.), Associate Professor, Mechnikov North-Western State Medical University (41B, Kirochnaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 191015); Kirov Military Medical Academy (6, Akademika Lebedev str., Saint Petersburg, Russian Federation, 194044); Saint Petersburg Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 190013); sir_fedor@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2113-3377>

Sergei A. Artyushkin — Doctor of Sciences (Med.), Professor, Head of the Department of Otorhinolaryngology, Vice-Rector on Studies, Mechnikov North-Western State Medical University (41B, Kirochnaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 191015); sergei.artyushkin@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4482-6157>

Sergei R. Ustinov — Graduate Student of the Department of Otorhinolaryngology, Mechnikov North-Western State Medical University (41B, Kirochnaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 191015); dr.ustinov23@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-0838-329X>

Yurii K. Yanov — Doctor of Sciences (Med.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Kirov Military Medical Academy (6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, Russian Federation, 1940044); <https://orcid.org/0000-0001-9195-128X>

Damir Z. Yumakaev — Adjunct of the Department of Otorhinolaryngology, Kirov Military Medical Academy (6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, Russian Federation, 194044); yumackaev.damir@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-4622-9400>

Поступила / Received 27.07.2024

Поступила после рецензирования / Revised 29.08.2024

Принята в печать / Accepted 02.09.2024