

ОТИАТРИЯ

Научная статья

УДК 616.28-009-073.432:621.395.92

<https://doi.org/10.18692/1810-4800-2024-4-63-70>

Влияние слухопротезирования на спектральные показатели голоса у пациентов с постлингвальной сенсоневральной тугоухостью II–III степени

Л. Е. Голованова¹, К. С. Арутюнян², И. Г. Андреева³

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

^{2,3} Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова Российской академии наук, Санкт-Петербург, 194223, Россия

¹ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова, Санкт-Петербург, 191015, Россия

¹ Городской сурдологический центр, Городской гериатрический центр, Санкт-Петербург, 190020, Россия

¹ lgolovanova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2577-7804>

² misery01@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9792-2671>

³ ig-andreeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9963-7519>

Работа поддержана средствами государственного бюджета по госзаданию ИЭФР РАН (тема № 075-00264-24-00)

Резюме. Постлингвальная хроническая сенсоневральная тугоухость (СНТ) характеризуется снижением слуха на основных речевых частотах, а также при недостаточности слухового контроля ухудшением слухоречевой обратной связи и изменением характеристик речи. Слухопротезирование является часто используемым методом реабилитации при разных степенях потери слуха. Улучшая слух, слуховые аппараты (СА) влияют на слухоречевое взаимодействие. **Цель работы.** Оценка показателей фонации и артикуляции у пациентов с СНТ II–III степени при слухопротезировании. Выполнены записи речи у женщин молодого и среднего возраста: 10 дикторов-женщин с СНТ II степени и 10 дикторов-женщин с СНТ III степени. Оценивали параметры голоса без СА и с СА. Проведены оценки частоты основного тона голоса (F0, ЧОТ), отвечающей за фонацию, формант F1, F2 гласных звуков [а], [и], [у], отвечающих за артикуляцию в разных ударных позициях, и расчет показателя централизации гласных — площади формантных треугольников. Выявлено достоверное уменьшение F0 для всех гласных, F1 [а] и [и] у пациентов при слухопротезировании. Полученный результат позволяет утверждать, что недостаточность слуховой обратной связи, вызванная снижением слуха, может компенсироваться слухопротезированием. Изменения спектральных показателей голоса могут рассматриваться как индивидуальные критерии эффективности слухопротезирования.

Ключевые слова: постлингвальная сенсоневральная тугоухость, характеристики гласных звуков, частота основного тона голоса, слухопротезирование, слуховые аппараты

Для цитирования: Голованова Л. Е., Арутюнян К. С., Андреева И. Г. Влияние слухопротезирования на спектральные показатели голоса у пациентов с постлингвальной сенсоневральной тугоухостью II–III степени. *Российская оториноларингология*. 2024;23(4):63–70. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2024-4-63-70>

Science article

Hearing aid effect on the spectral indices of the voice in patients with moderate and severe postlingual sensorineural hearing loss**L. E. Golovanova¹, K. S. Arutyunyan², I. G. Andreeva³**¹ Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, 190013, Russian Federation^{2,3} Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, 194223, Russian Federation¹ Mechnikov North-Western State Medical University, Saint Petersburg, 191015, Russian Federation¹ City Audiology Center, City Geriatric Center, Saint Petersburg, 190020, Russian Federation¹ lgolovanova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2577-7804>² misery01@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9792-2671>³ ig-andreeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9963-7519>

Abstract. Postlingual chronic sensorineural hearing loss (SNHL) is characterized by decreased hearing at the fundamental voice frequencies as well as, in case of insufficient auditory control, deterioration of auditory-verbal feedback and changes in speech characteristics. Hearing aid (HA) is a frequently used method of rehabilitation for different degrees of hearing loss. **Objective.** By improving hearing, hearing aids (HA) affect auditory-speech interaction. The aim of the work was to evaluate the phonation and articulation indices in patients with moderate and severe SNHL using HA. Speech recordings were made in young and middle-aged women: 10 female speakers with moderate SNHL and 10 female speakers with severe SNHL. Voice parameters were evaluated with and without HA. The fundamental frequency of the voice (F0) responsible for phonation, formants F1, F2 of vowel sounds [a], [i], [u] responsible for articulation in different stress positions were estimated, and the vowel centralization index—the area of formant triangles—was calculated. A reliable decrease in F0 for all vowels, F1 [a] and [i] in patients with HA was revealed. The obtained result allows us to state that the insufficiency of auditory feedback caused by hearing loss can be compensated by HA. Changes in the spectral indices of the voice can be considered as individual criteria for the effectiveness of HA.

Keywords: postlingual sensorineural hearing loss, characteristics of vowel sounds, fundamental frequency of the voice, hearing aid, hearing aids

For citation: Golovanova L. E., Arutyunyan K. S., Andreeva I. G. Hearing aid effect on the spectral indices of the voice in patients with moderate and severe postlingual sensorineural hearing loss. *Russian Otorhinolaryngology*. 2024;23(4):63-70. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2024-4-63-70>

Речеобразование человека регулируется и поддерживается с помощью слухоречевого взаимодействия, состоящего из двух компонентов — прямой связи (feedforward control) и обратной связи (feedback control) [1–3]. Прямая связь отвечает за моторный компонент говорения и формируется в период овладения ребенком речью, основываясь на опыте имитации фонем и слогов родного языка [4]. Обратная связь позволяет говорить, опираясь на входящий слуховой сигнал в ситуации самопрослушивания диктором своего голоса [5]. Система обратной связи состоит из двух компонентов: слуховой, учитывающий входящий звуковой сигнал, и соматосенсорный, отвечающий за речевое воспроизведение [4]. Наиболее информативную оценку об изменении качества голоса дают спектральные характеристики, связанные с фонацией (F0) и артикуляцией (F1, F2). Эти показатели очень тесно связаны между собой, поскольку звук из гортани преобразуется в слова посредством совместной работы динамических и статических структур верхних

голосовых путей [6]. У дикторов с нормальным слухом системы прямой и обратной слуховой связи находятся в согласовании, что обеспечивает адекватную фонацию и артикуляцию при говорении. У пациентов со снижением слуха наблюдается рассогласование работы двух систем в зависимости от времени манифестации тугоухости [7]. При прелингвальной потере слуха из-за отсутствия слуховой афферентации изначально нарушается моторный компонент речеобразования, что приводит к достоверному изменению показателей речи: частоты основного тона голоса (F0), нестабильности голоса по частоте (jitter) и амплитуде (shimmer), формантной характеристике гласных звуков [1, 8, 9].

В случае постлингвальной тугоухости прямая связь, сформированная в прелингвальный и перилингвальный периоды, сохраняется, а обратная связь испытывает дефицит, обусловленный снижением слуха. При реабилитации слух восстанавливается в той или иной степени, и обратная связь улучшается.

Слухопротезирование является часто используемым методом реабилитации при разных степенях потери слуха [10]. Данные акустических показателей голоса, отвечающих за фонацию (F0) и артикуляцию (F1, F2), у пациентов после слухопротезирования при постлингвальной СНТ II–III степени отсутствуют. Найденные нами научные исследования были посвящены спектральному анализу F0 гласной [a] у пациентов с прелингвальной СНТ при использовании слуховых аппаратов (СА) [10], изучению изменений разборчивости речи при слухопротезировании [12] и восприятию речи с СА при глубокой потере слуха [13].

Цель исследования

Оценить влияние адекватного слухопротезирования у пациентов с постлингвальной СНТ II–III степени на спектральные показатели голоса, характеризующие фонацию и артикуляцию.

Пациенты и методы

На базе Городского сурдологического центра СПб ГБУЗ «Городской гериатрический центр» за период 2022–2024 гг. было обследовано 20 женщин молодого и среднего возраста (32–55 лет) с диагностированной симметричной двусторонней хронической постлингвальной СНТ II и III степени продолжительностью более 5 лет. Часть пациентов были слухопротезированы ранее, другие не пользовались СА. После сбора анамнеза и оториноларингологического осмотра проводили аудиологическое обследование, которое включало: тональную пороговую аудиометрию (аудиометр клинический AC 40 Interacoustic), акуметрию, импедансометрию (GSI 39), речевые тесты для оценки адекватности слухопротезирования (Русский речевой материал). Критериями исключения пациентов из исследования были: пре- или перилингвальная потеря слуха, органическое поражение голосовых связок; анатомические аномалии верхних дыхательных путей; речевая профессия дикторов; неврологические расстройства; острое нарушение мозгового кровообращения в анамнезе.

В первую экспериментальную группу были включены 10 женщин с СНТ II степени, средний возраст пациентов 44 ± 7 лет. Восемь из десяти обследуемых ранее не пользовались СА в повседневной жизни. Эти пациенты впоследствии были моно- или бинаурально протезированы на базе Сурдологического центра. Две пациентки использовали СА в течение 3 лет. Вторую экспериментальную группу составили 10 женщин в возрасте 47 ± 7 лет с СНТ III степени. Восемь из десяти женщин были ранее моно- или бинаурально слухопротезированы, средняя продолжительность использования СА составила

7 лет. Двум пациенткам были подобраны и настроены СА на базе Сурдологического центра. Эффективность слухопротезирования оценивали методом речевой аудиометрии в свободном звуковом поле с помощью «Тестовых таблиц разнотонных слов для тестирования взрослых» [14]. Слухопротезирование считалось эффективным, если разборчивость речи в одном или двух СА составляла 70% или более и/или прирост разборчивости в СА по сравнению с их отсутствием составлял не менее 10% [15].

Все процедуры, выполненные в настоящем исследовании с участием людей, были одобрены Этическим комитетом СПб ГБУЗ «Городской гериатрический центр» и соответствовали требованиям Хельсинкской декларации 1964 года с ее последующими изменениями. Перед началом исследования речи каждый испытуемый подписывал информированное согласие.

Для формантного анализа гласных использовали 9 слов русского языка с гласными [a], [и], [y] в разных ударных позициях: в начале слова — ручка, Армия, мИна; в середине — бумАга, малИна, посУда; в конце — кредИт, шалУн, строкаА. Экспериментальная процедура включала 2 этапа: запись голоса пациентов (дикторов) без использования СА и повторная запись того же речевого материала при моно- или бинауральном слухопротезировании. Во время записи речи диктор располагался на стуле. В 20 см от диктора, на уровне его рта, устанавливали микрофон на стойке. Проводили запись 9 слов — 3 группы по 3 слова, в которых ударная гласная занимала одну из трех возможных позиций. В течение одной записи диктор произносил три слова друг за другом четыре раза. Для того чтобы уменьшить различия в интонировании слов, дикторов просили перед каждым словом добавлять местоимение «это»: «Это — ручка, это — армия, это — мина» и т. д. Для каждого диктора было записано 36 слов в двух условиях (9 слов $\times$ 4 повтора $\times$ 2 условия). Общий объем записанного материала для всех 20 дикторов составил 1440 слов — по 720 слов для каждой группы.

Запись голоса диктора выполняли с применением ноутбука HP C80KNL55 и программного обеспечения Adobe Audition CC 2017. Для записи голоса использовали микрофон Sennheiser E845 и звуковую карту Behringer U-Phoria UMC204HD (48 кГц, 16 бит). Для сравнения параметров речи пациентов использовали t-критерий Стьюдента для зависимых выборок. Анализ ударных гласных звуков включал выделение стационарного участка гласного (не менее 50 мс) для определения F0, F1 и F2 в программе Praat Version 6.2.05 (свободно распространяемое программное обеспечение, www.praat.org). Результаты формантного анализа использовали для оценки централиза-

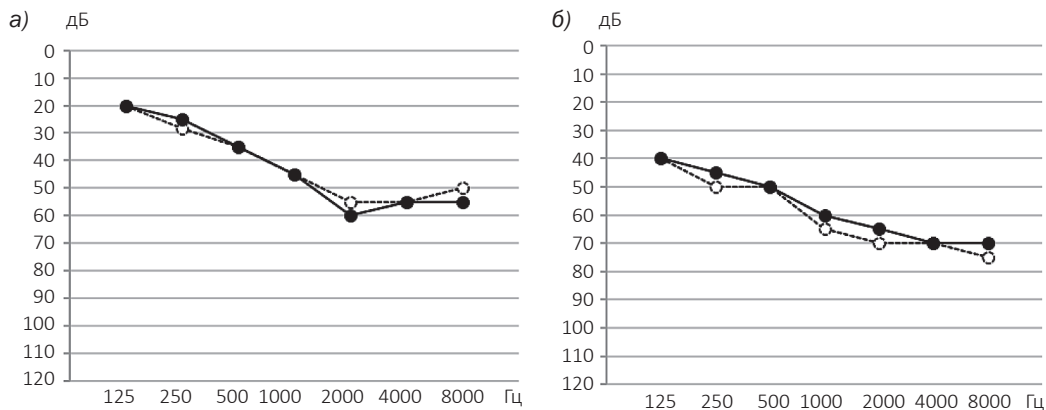


Рис. 1. Усредненные данные тональной пороговой аудиометрии для пациентов СНТ II степени (а) и III степени (б)
Fig. 1. Averaged pure-tone threshold audiometry data for patients with moderate SNHL (a) and severe SNHL (b)

ции гласных. Определяли площадь формантных треугольников (ПФТ), которую рассчитывали по формуле, предложенной Н. Vorperian, R. D. Kent [16] и модифицированной для русского языка [17].

Результаты исследования

Усредненные данные тональной пороговой аудиометрии для каждой группы представлены на рис. 1.

Среднее значение порогов слышимости в зоне речевых частот составило у пациентов с СНТ II степени 42 ± 4 дБ нПС для правого уха и 42 ± 5 дБ нПС для левого уха, у пациентов с СНТ III степени 64 ± 6 дБ нПС для правого уха и 62 ± 7 дБ нПС для левого уха. Продолжительность тугоухости, сроки ношения СА и разборчивость речи при слухопротезировании пациентов представлены в таблице.

В группе пациентов с СНТ II степени значение F0 находилось в диапазоне 156–208 Гц без использования СА (F0 среднее 180 ± 20 Гц) и 150–208 Гц при слухопротезировании (F0 среднее 176 ± 19 Гц); для пациентов с СНТ III степени — 167–209 Гц (F0 среднее 185 ± 17 Гц) и 149–211 Гц (F0 среднее 176 ± 20 Гц) соответственно. Выявлено достоверное уменьшение F0 у пациентов при слухопротезировании для обеих групп на $2,2 \pm 2,4$ и $5,0 \pm 4,1\%$ ($p < 0,05$).

Помимо F0 были определены основные показатели артикуляции гласных звуков — F1 и F2. Для каждого гласного рассчитано среднее значение по трем ударным позициям, что позволило устранить влияние его интонирования при произнесении в начале, середине и конце слова. Значение F1 [а] статистически значимо уменьшилось в обеих группах при слухопротезировании на $11,6 \pm 10,4$ и $11,6 \pm 9,9\%$ ($p < 0,05$), что может указывать на более закрытый характер гласного [а] при произнесении слов. У пациентов с СНТ III степени также достоверно уменьшилось значение F1 [и] на $9,7 \pm 8,0\%$ ($p < 0,05$). Не получили достоверного изменения параметра F1 [у] в обе-

их группах ($p = 0,08$ для СНТ II степени и $p = 0,09$ для СНТ III степени) и F1 [и] для СНТ II степени ($p = 0,06$). Значение F2 [а], [у], [и] статистически значимо не менялось в обеих группах пациентов: для [а] F2 $p = 0,69$ и $0,18$; для [и] F2 $p = 0,57$ и $0,49$; для [у] F2 $p = 0,99$ и $0,29$.

Для выявления нарушения артикуляции, обусловленного ухудшением слуховой обратной связи при речеобразовании пациентов с СНТ II–III степени, рассчитывали показатели, характеризующие централизацию гласных звуков на формантной плоскости F1–F2. Данные для двух групп представлены на рис. 2 в виде формантных треугольников гласных звуков [а], [и], [у]. Индивидуальные ПФТ различались внутри группы СНТ II степени более чем в пять раз при отсутствии СА (87 000–440 000 у. е.) и в четыре раза при ношении СА (91 000–360 000 у. е.), в то время как для группы СНТ III степени в 2,5 раза без СА (199 000–487 000 у. е.) и в 3,6 раза при использовании СА (121 000–437 000 у. е.). ПФТ достоверно уменьшалась в обеих группах при слухопротезировании на $16,3 \pm 17,5$ и $18,8 \pm 26,6\%$ ($p < 0,05$).

Обсуждение

При анализе результатов мы отметили, что разборчивость речи при слухопротезировании значительно варьирует у некоторых пациентов, особенно в группе СНТ II степени. Вероятно, это связано с отсутствием опыта ношения СА у пациентов данной группы. Пациенты среднего возраста реже используют СА в повседневной жизни, что чаще связано с социальным аспектом и страхом осуждения в обществе [18].

В мировой литературе имеется большой пул исследований, посвященных изменениям характеристик голоса и речи у детей и взрослых при глубоких прелингвальных и постлингвальных потерях слуха и глухоте, и влиянию операции кохlearной имплантации на состояние не только слуховой, но и речевой системы [19–22]. Изменения речи у пациентов с постлингвальной потерей

Таблица 1

Продолжительность тугоухости, сроки ношения СА и разборчивость речи при слухопротезировании у пациентов СНТ II–III степени

Table 1

Duration of hearing loss, urgency of using hearing aids and speech intelligibility with using hearing aids in patients with moderate and severe SNHL

№	Возраст (лет)	Продолжительность тугоухости, лет	Срок ношения слухового аппарата, лет	Разборчивость речи без слухового аппарата/в слуховом аппарате (%)
СНТ II степени				
1	36	Более 15	Не носит	75/100
2	49	12	Не носит	77,5/95
3	46	Более 10	Не носит	82,5/97,5
4	48	Более 20	Не носит	65/95
5	32	Более 10	Не носит	90/97,5
6	49	Более 10	3	85/100
7	44	Более 10	Не носит	70/100
8	38	Более 15	Не носит	70/100
9	50	Более 10	Не носит	45/75
10	55	Более 20	3	60/80
СНТ III степени				
1	46	Более 15	11	0/45
2	45	15	8	5/75
3	38	Более 15	12	22,5/92,5
4	48	Более 15	1	40/80
5	55	Более 12	3	5/80
6	55	Более 30	9	5/65
7	53	Более 20	Не носит	35/60
8	51	Более 20	4	25/65
9	36	Более 15	Не носит	45/75
10	37	Более 10	9	0/55

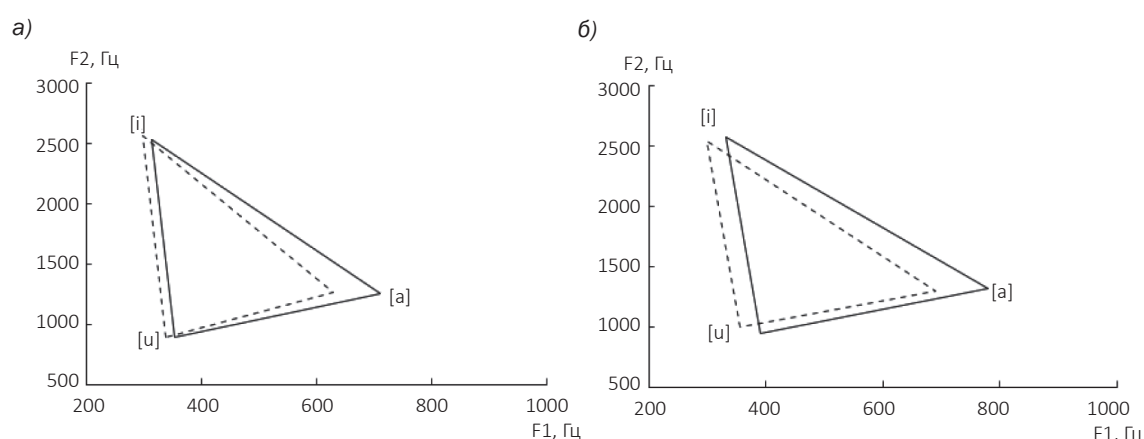


Рис. 2. Треугольники гласных звуков на плоскости формант F1–F2 для пациентов с постлингвальной хронической СНТ II степени (а) и III степени (б). По оси абсцисс — форманта F1, Гц; по оси ординат — форманта F2, Гц. На панелях рисунков сплошной линией показаны усредненные данные пациентов без СА, штриховой линией показаны данные пациентов при слухопротезировании

Fig. 2. Triangles of vowel sounds on the formant plane F1–F2 for patients with postlingual moderate SNHL (a) and severe SNHL (b). The x-axis is formant F1, Hz; the y-axis is formant F2, Hz. In the panels of the figures, the solid lines show the average data of patients without hearing aids, the dashed lines show the data of patients with hearing aids

слуха средней степени тяжести практически не описаны [23, 24]. Наши результаты показали достоверные изменения фонации у пациентов при слухопротезировании — показатель F0 достоверно снижался в обеих группах испытуемых, при этом изменения у пациентов с СНТ III степени оказались более выраженными. F0 указывает на частоту вибрации голосовых связок, и на этот показатель влияет недостаточность слуховой обратной связи при СНТ [2, 4]. Изменение F0 у пациентов при слухопротезировании указывает на частичное восстановление слуховой обратной связи, что повышает уровень самопрослушивания у пациента, и, как следствие, уменьшение частоты колебания голосовых связок.

Оценку артикуляции при произнесении гласных звуков проводили методом построения формантных треугольников гласных с вершинами [a], [y], [и] на формантной плоскости F1–F2. В эксперименте была показана большая вариабельность значений ПФТ для пациентов с СНТ II степени по сравнению с данными у пациентов с СНТ III степени. Вероятно, эта разница между группами связана с более однородными данными у пациентов с СНТ III степени, а также с опытом ношения СА [25, 26]. При наглядной оценке формантных треугольников гласных было отмечено их смещение по оси абсцисс влево за счет снижения F1 гласных [a] и [и], а следовательно, и уменьшения ПФТ. Значимые изменения F1 [a] при слухопротезировании связаны прежде всего с тем, что при уменьшении F0 снижается уровень подвязочного давления, что сильнее всего сказывается на гласном звуке [a] как наиболее открытом. В нашем предыдущем исследовании было отмечено отсутствие статистически значимой разницы в

ПФТ у пациентов с СНТ и у дикторов с нормой слуха [6]. Упомянутая выше высокая вариабельность показателя ПФТ у пациентов обеих групп в результате эксперимента не делает достоверным сопоставление этого критерия с аналогичным у дикторов с нормой слуха. В работе [27] исследовали несколько групп пациентов — пациенты одной из них пользовались СА, и, несмотря на то что все дикторы были с прелингвальной тугоухостью разной степени, в группе с СНТ не выявили статистически значимой разницы в значениях ПФТ по сравнению с контрольной группой с нормой слуха. Наши данные показали, что пациенты с СНТ при слуховой коррекции могут достичь таких же показателей артикуляции, как дикторы с нормой слуха. Это связано с тем, что при постлингвальной частичной потере слуха обратная слуховая связь не утрачивается полностью, а лишь испытывает временную недостаточность, которая может компенсироваться слухопротезированием.

Заключение

Изменение фонации и артикуляции у пациентов с постлингвальной хронической СНТ II и III степени объясняется ухудшением контроля голоса (обратная связь), а в случае отсутствия адекватного слухопротезирования утрачиваются и сформированные ранее слухоречевые связи (прямая связь). Несмотря на вариабельность показателей голоса у пациентов, наблюдается тенденция к снижению показателей фонации (F0) и артикуляции (F1) у пациентов при использовании СА. Изменения спектральных показателей голоса вместе с оценкой адекватности слухопротезирования рассматриваются как индивидуальные критерии эффективности слухопротезирования.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Луничкин А. М., Штин К. С. Роль слуховой обратной связи в контроле голоса при нормальном и сниженном слухе. *Сенсорные системы*. 2023;37:285–301.
Lunichkin A. M., Shtin K. S. The role of auditory feedback in voice control with normal and impaired hearing. *Sensory systems*. 2023;37(4):285–300. (In Russ.) <https://doi.org/0.31857/S0235009223040042>
2. Selleck M., Sataloff R. The impact of the auditory system on phonation: a review. *Journal of Voice*. 2014;28(6):688–693. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.03.018>
3. Bouchard K., Chang, E. Control of spoken vowel acoustics and the influence of phonetic context in human speech sensorimotor cortex. *Journal of Neuroscience*. 2014;34(38):12662–12672. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1219-14.2014>
4. Guenter F. Neural control of speech. London, England, The MIT Press. 2016. 420 p.
5. Perkell J. Movement goals and feedback and feedforward control mechanisms in speech production. *J Neurolinguistics*. 2012;25:382–407. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2010.02.011>
6. Штин К. С., Луничкин А. М., Гвоздева А. П., Голованова Л. Е., Андреева И. Г. Спектральные характеристики кардинальных гласных звуков как показатели слухоречевой обратной связи у пациентов с постлингвальной хронической сенсоневральной тугоухостью II и III степени. *Российский физиологический журнал*. 2023;109(4):489–501. <https://doi.org/10.31857/S0869813923040106>
Shtin K. S., Lunichkin A. M., Gvozdeva A. P., Golovanova L. E., Andreeva I. G. Spectral characteristics of cardinal vowels as indicators of the auditory speech feedback control in patients with moderate and moderately severe chronic postlingual sensorineural hearing loss. *Russ J Physiol*. 2023;109(4):489–501. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869813923040106>

7. Лазарева Л. А., Элизбарян И. С., Азаматова С. А., Музаева Б. Р., Сущева Н. А. Триггеры и предикторы развития и формирования сенсоневральной тугоухости. *Вестник оториноларингологии*. 2022;87(2):34–44. <https://doi.org/10.17116/otorino20228702134>
Lazareva L. A., Elizbaryan I. S., Azamatova S. A., Muzaeva B. R., Sushcheva N. A. Triggers and predictors of development and formation of sensorineural hearing loss. *Vestnik otorinolaringologii*. 2022;87(2):34–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/otorino20228702134>
8. Subtelny J., Whitehead R., Samar V. Spectral study of deviant resonance in the speech of woman who are deaf. *J Speech Lang Hear Res*. 1992;35:574–579. <https://doi.org/10.1044/jshr.3503.574>
9. Nicolaidis K., Sfakianaki A. Acoustic characteristics of vowels produced by Greek intelligible speakers with profound hearing impairment I: Examination of vowel space. *Int J Speech-Lang Pathol*. 2016;18:378–387. <https://doi.org/10.3109/17549507.2015.1101155>
10. Ferguson M., Kitterick P., Chong L., Edmondson-Jones M., Barker F., Hoare D. Hearing aids for mild to moderate hearing loss in adults. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;9(9):CD012023. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012023>
11. Lee G., Liu C., Lee S. Effects of hearing aid amplification on voice F0 variability in speakers with prelingual hearing loss. *Hear Res*. 2013;302:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.04.010>
12. Kuk F., Lau C., Korhonen P., Crose B. Speech intelligibility benefits of hearing AIDS at various input levels. *J Am Acad Audiol*. 2015;26(3):275–288. <https://doi.org/10.3766/jaaa.26.3.7>
13. Faulkner A., Ball V., Rosen S., Moore B., Fourcin A. Speech pattern hearing aids for the profoundly hearing impaired: speech perception and auditory abilities. *J Acoust Soc Am*. 1992;91:2136–55. <https://doi.org/10.1121/1.403674>. PMID: 1597605.
14. Бобошко М. Ю., Риехакайнен Е. И. Речевая аудиометрия в клинической практике. СПб.: Диалог, 2019. 80 с.
Boboshko M. Y., Riekhakainen E. I. Rechevaya audiometriya v klinicheskoi praktike. Saint Petersburg: Dialog, 2019. 80 p. (In Russ.)
15. Патент РФ 2021101377. Способ оценки эффективности слухопротезирования и подбора слуховых аппаратов / Гауфман В. Е., Гребенюк И. Э. Заявл. 22.01.2021. Оpubл. 28.03.2022.
Invention Rus 2021101377. Method for evaluating the effectiveness of hearing prosthetics and selecting hearing aids / Gaufman V. E., Grebeniuk I. E. Applic. 22.01.2021. Date of publ. 28.03.2022. (In Russ.)
16. Vorperian H., Kent R. Vowel acoustic space development in children: A synthesis of acoustic and anatomic data. *J Speech Lang Hear Res*. 2007;50:1510–1545. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/104\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2007/104))
17. Ляко Е. Е., Григорьев А. С. Динамика длительности и частотных характеристик гласных на протяжении первых семи лет жизни детей. *Российский физиологический журнал*. 2013;99:1097–1110.
Lyakso E. E., Grigorev A. S. Dynamics of duration and frequency characteristics the vowels over the first seven years of life of children. *Russ J Physiol*. 2013;99:1097–1110. (In Russ.)
18. Shukla A., Harper M., Pedersen E., Goman A., Suen J., Price C., Applebaum J., Hoyer M., Lin F., Reed N. Hearing loss, loneliness, and social isolation: a systematic review. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2020;162(5):622–633. <https://doi.org/10.1177/0194599820910377>
19. Hassan S., Malki K., Mesallam T., Farahat M., Bukhari M., Murry T. The effect of cochlear implantation and post-operative rehabilitation on acoustic voice analysis in post-lingual hearing impaired adults. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2011;268(10):1437–1442. <https://doi.org/10.1007/s00405-011-1501-6>
20. Clark J., Yeagle J., Arbaje A., Lin F., Niparko J., Francis H. Cochlear implant rehabilitation in older adults: literature review and proposal of a conceptual framework. *J Am Geriatr Soc*. 2012;60(10):1936–1945. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2012.04150.x>
21. Saki N., Bayat A., Nikakhlagh S., Zamani P., Khaleghi A., Karimi M., Dastoorpoor M. Acoustic voice analysis in postlingual deaf adult cochlear implant users: a within-group comparison study. *J Voice*. 2020;36(3):439.e1–439.e8. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.06.005>
22. Nagels L., Gaudrain E., Vickers D., Hendriks P., Başkent D. Prelingually deaf children with cochlear implants show better perception of voice cues and speech in competing speech than postlingually deaf adults with cochlear implants. *Ear & Hearing*. 2024; 1–17. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001489>
23. Lee G. Variability in voice fundamental frequency of sustained vowels in speakers with sensorineural hearing loss. *J Voice*. 2012;26(1):24–29. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2010.10.003>
24. Mora R., Crippa B., Cervoni E., Santomauro V., Guastini L. Acoustic features of voice in patients with severe hearing loss. *J Otolaryngol-Head & Neck Surg*. 2012;41:8–13. <https://doi.org/10.2310/7070.2011.110150>
25. Бобошко М. Ю., Мальцева Н. В., Бердникова И. П., Абу-Джамеа А. Х., Коротков Ю. В. Эффективность слухопротезирования при использовании разных формул настройки слухового аппарата. *Российская оториноларингология*. 2014;3(70):137–144. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21801523>
Boboshko M. Y., Maltseva N. V., Berdnikova I. P., Abu Jamee A. H., Korotkov V. Y. The efficacy of hearing aids in using different fitting formulas. *Russian otorhinolaryngology*. 2014;3(70):137–144. (In Russ) <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21801523>
26. Бобошко М. Ю., Жилинская Е. В. Разборчивость речи у пациентов разного возраста с хронической сенсоневральной тугоухостью. *Российская оториноларингология*. 2021;20:8–14. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-4-8-14>
Boboshko M. Yu., Zhilinskaya E. V. Speech intelligibility in patients of different ages with chronic sensorineural hearing loss. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2021;20:8–14. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-4-8-14>

27. Hung Y., Lee Y., Tsai L. Vowel production of Mandarin-speaking hearing aid users with different types of hearing loss. *PLoS One*. 2017;2;12(6):e0178588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178588>.

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of authors:

All authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Информация об авторах

Голованова Лариса Евгеньевна — доктор медицинских наук, заведующая, Городской сурдологический центр, Городской гериатрический центр (190020, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Рижский пр., д. 21, литер Е); доцент кафедры гериатрии, пропедевтики и управления в сестринской деятельности, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова (191015, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Пискаревский пр., д. 47); старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); председатель Санкт-Петербургского филиала Общества аудиологов, Igolovanova@inbox.ru <https://orcid.org/0000-0003-2577-7804>

Арутюнян Ксения Сергеевна — врач-сурдолог-оториноларинголог, Городской сурдологический центр, Городской гериатрический центр (190020, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Рижский пр., д. 21, литер Е); аспирант, Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова Российской академии наук (194223, Российская Федерация, Санкт-Петербург, пр. Тореза, д. 44), misery01@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9792-2671>

Андреева Ирина Германовна — доктор биологических наук, заведующая лабораторией сравнительной сенсорной физиологии, Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова Российской академии наук (194223, Российская Федерация, Санкт-Петербург, пр. Тореза, д. 44), ig-andreeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9963-7519>

Information about authors

Larisa E. Golovanova — Doctor of Sciences (Med.), Head, City Audiology Center of Saint-Petersburg City Gerontology Center (21-E, pr. Rizskiy, Saint-Petersburg, Russian Federation, 190020); Associate Professor of the Department of Geriatrics, Propaedeutics and Management in Nursing, Mechnikov North-Western State Medical University (47, pr. Piskarevskiy, Saint Petersburg, Russian Federation, 191015); Senior Researcher, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 190013); Chairman of Saint Petersburg Branch of the Society of Audiologists, Igolovanova@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2577-7804>

Kseniya S. Arutyunyan — Audiologist-Otorhinolaryngologist, City Audiology Center of Saint-Petersburg City Gerontology Center (21-E, pr. Rizskiy, Saint-Petersburg, Russian Federation, 190020); Postgraduate Student, Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences (44, pr. Toreza, Saint Petersburg, Russian Federation, 194223); misery01@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9792-2671>

Irina G. Andreeva — Doctor of Sciences (Biol.), Head of the Laboratory of Comparative Physiology of Sensory Systems, Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences (44, pr. Toreza, Saint Petersburg, Russian Federation, 194223); ig-andreeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9963-7519>

Поступила / Received 04.06.2024

Поступила после рецензирования / Revised 10.06.2024

Принята в печать / Accepted 05.07.2024