

ОБЗОРЫ

УДК 616.283-089.843:004.8

<https://doi.org/10.18692/1810-4800-2025-6-93-102>

Применение технологий искусственного интеллекта в кохлеарной имплантации от анализа КТ и МРТ изображений до послеоперационной реабилитации

С. В. Левин¹, В. В. Дворянчиков², В. Е. Кузовков³, В. А. Воронов⁴,
Е. А. Левина⁵, Ю. К. Янов⁶, Р. А. Нариманов⁷

^{1,2,3,5,7} Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи,
Санкт-Петербург, 190013, Российская Федерация

⁴ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова,
Санкт-Петербург, 191015, Российская Федерация

⁶ Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург, 194044, Российская Федерация

⁷ Центр реабилитации для детей с нарушением слуха, Москва, 108841, Российская Федерация

¹ s.levin@niilor.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9770-7739>

² v.v.dvoryanчиков@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0925-7596>

³ v_kuzovkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2581-4006>

⁴ voronov.ent@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6755-7618>

⁵ e.levina@niilor.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0285-6526>

⁶ 3162256@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-9195-128X>

⁷ robertnarimanov40@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5792-0471>

Реферат. В России зарегистрировано более 40 медицинских изделий с искусственным интеллектом в разных областях здравоохранения, в мире десятки тысяч технологий используют искусственный интеллект в медицине. Только в США FDA одобрило более 1000 медицинских устройств с поддержкой искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО). В области оториноларингологии в РФ еще не зарегистрированы медицинские изделия с искусственным интеллектом. В других странах уже существуют прототипы и зарегистрированные изделия в оториноларингологии и кохлеарной имплантации. Они позволяют прогнозировать эффективность кохлеарной имплантации или возможность сохранения остаточного слуха, в том числе при аномалиях развития внутреннего уха. ИИ используется для предоперационной диагностики и помогает стратифицировать риски. Быстрое развитие систем ИИ происходит в области анализа КТ и МРТ изображений. Робот-ассистированные технологии под управлением ИИ, обеспечивают высокую точность операций и контролируемое введение электродной решетки что позволяет достичь меньшей травматизации внутреннего уха чем в традиционной хирургии. Интраоперационные методы тестирования в сочетании с алгоритмами ИИ в режиме реального времени позволяют выявить отклонение электродной решетки от оптимальной траектории в момент введения в улитку. По данным анализа КТ и МРТ изображений определяется положение электродной решетки кохлеарного импланта, использующееся в настройке процессоров КИ. Системы ИИ при помощи телеметрии могут оценивать положение электродов, частично заменяя рентгенологический контроль. На этапе программирования речевого процессора описаны алгоритмы автоматического определения порогов суммационного потенциала слухового нерва (ЕСАР). По данным исследований при использовании предобработки глубокой нейронной сетью речи в шуме значительно повышается разборчивость. В реабилитации пациентов с КИ используются приложения для самостоятельной реабилитации с ИИ. Современное развитие информационных технологий позволяет значительно автоматизировать и повысить эффективность одной из сложных направлений оториноларингологии — кохлеарной имплантации.

Ключевые слова: кохлеарная имплантация, реабилитация, искусственный интеллект, аномалия развития внутреннего уха, нейронная сеть, обзор

Для цитирования: Левин С. В., Дворянчиков В. В., Кузовков В. Е., Воронов В. А., Левина Е. А., Янов Ю. К., Нариманов Р. А. Применение технологий искусственного интеллекта в кохлеарной имплантации от анализа КТ и МРТ изображений до послеоперационной реабилитации. *Российская оториноларингология*. 2025;24(6):93–102. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2025-6-93-102>

REVIEWS

Application of artificial intelligence systems in cochlear implantation from CT and MRI image analysis to postoperative rehabilitation

S. V. Levin¹, V. V. Dvoryanchikov², V. E. Kuzovkov³, V. A. Voronov⁴,
E. A. Levina⁵, Yu. K. Yanov⁶, R. A. Narimanov⁷

^{1,2,3,5,7} Saint Petersburg Institute of Ear, Throat, Nose and Speech,
Saint Petersburg, 190013, Russian Federation

⁴ Mechnikov North-Western State Medical University, Saint Petersburg, 191015, Russian Federation

⁶ Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, 194044, Russian Federation

⁷ Rehabilitation Center for Children with Hearing Impairments, Moscow, 108841, Russian Federation

¹ s.levin@niilor.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-9770-7739>

² v.v.dvoryanchikov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0925-7596>

³ v_kuzovkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2581-4006>

⁴ voronov.ent@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6755-7618>

⁵ e.levina@niilor.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0285-6526>

⁶ 3162256@mail.ru <https://orcid.org/0000-0001-9195-128X>

⁷ robertnarimanov40@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5792-0471>

Abstract. In Russia, more than 40 medical devices with artificial intelligence (AI) are registered in various healthcare fields, and tens of thousands of technologies worldwide utilize AI in medicine. In the US alone, the FDA has approved over 1,000 medical devices with AI and machine learning. No AI-enabled medical devices have yet been registered in Russia in the field of otolaryngology. In other countries, prototypes and registered devices already exist in otolaryngology and cochlear implantation. These devices allow for predicting the effectiveness of cochlear implantation or the possibility of preserving residual hearing, including in cases of inner ear malformations. AI is used for preoperative diagnostics and helps stratify risks. Rapid development of AI systems is occurring in CT and MRI image analysis. Robot-assisted AI-controlled technologies provide high surgical precision and controlled insertion of electrode arrays, resulting in less trauma to the inner ear than traditional surgery. Intraoperative testing methods combined with real-time AI algorithms allow for the detection of electrode array deviations from the optimal trajectory during insertion into the cochlea. CT and MRI image analysis determines the position of the cochlear implant electrode array, which is used to configure the cochlear implant processors. AI systems can use telemetry to assess electrode position, partially replacing radiographic monitoring. Algorithms for automatically determining the electrically evoked compound action potential (ECAP) have been described during speech processor programming. Research has shown that speech intelligibility is significantly improved by using deep neural network preprocessing of speech in noise. AI-powered self-help apps are used in the rehabilitation of patients with cochlear implants. Modern advances in information technology make it possible to significantly automate and improve the efficiency of one of the most complex areas of otolaryngology—cochlear implantation. **Keywords:** cochlear implantation, rehabilitation, artificial intelligence, inner ear developmental anomaly, neural network, review

For citation: Levin S. V., Dvoryanchikov V. V., Kuzovkov V. E., Voronov V. A., Levina E. A., Yanov Yu. K., Narimanov R. A. Application of artificial intelligence systems in cochlear implantation from CT and MRI image analysis to postoperative rehabilitation. *Russian Otorhinolaryngology*. 2025;24(6):93–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2025-6-93-102>

Введение

В России зарегистрировано более 40 медицинских изделий с искусственным интеллектом в разных областях здравоохранения, в мире десятки тысяч технологий используют искусственный интеллект в медицине. Только в США FDA одобрило

более 1000 медицинских устройств с поддержкой искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО). В области оториноларингологии в РФ еще не зарегистрированы медицинские изделия с искусственным интеллектом. В других странах уже существуют прототипы и зарегистри-

стрированные изделия в оториноларингологии и кохлеарной имплантации. Они позволяют прогнозировать эффективность кохлеарной имплантации или возможность сохранения остаточного слуха, в том числе при аномалиях развития внутреннего уха. Быстрое развитие систем ИИ происходит в области анализа КТ и МРТ изображений. Также значительное развитие технологии ИИ получили на стыке лор хирургии и сурдологии. Кохлеарная имплантация (КИ) — наиболее эффективный метод реабилитации пациентов с тяжелой сенсоневральной тугоухостью и глухотой [1]. За последние десятилетия операция КИ была выполнена у более чем 1 миллиона человек [2]. Тем не менее, результаты КИ очень отличаются: даже в однородных возрастных группах и сроках выполнения операции, некоторые пациенты достигают оптимального понимания речи, тогда как другие продолжают испытывать серьезные затруднения [3]. Многофакторность влияющих причин (возраст имплантации, длительность слуховой депривации, состояние улитки и слухового нерва, когнитивные особенности и др.) затрудняет прогнозирование индивидуального результата по традиционным клиническим параметрам [4–6]. Искусственный интеллект (ИИ) и методики машинного обучения (МО) за последние годы зарекомендовали себя как перспективные инструменты для решения подобных сложных задач в медицине [7, 8]. В оториноларингологии и аудиологии внедрение МО началось еще в 2000-х годах — от автоматического анализа аудиограмм и диагностических тестов до распознавания образов на снимках [9]. ИИ используется для предоперационной диагностики и помогает стратифицировать риски. В области кохлеарной имплантации ИИ предлагает новые возможности на всех этапах лечения: от отбора кандидатов, анализа КТ и МРТ изображений височных костей, прогнозирования результатов КИ, автоматизации этапов хирургического лечения, до автоматизированной настройки речевого процессора и организации индивидуальной программы реабилитации [10, 10].

Искусственный интеллект на этапе предоперационного отбора кандидатов и прогнозирования результатов. Отбор кандидатов на операцию кохлеарной имплантации традиционно основывается на аудиологических критериях (степень снижения слуха, оценка эффективности слуховых аппаратов), а также ряде клинических факторов (возраст, отсутствие противопоказаний к кохлеарной имплантации и др.). Расширение показаний к КИ: имплантация при относительно сохранном низкочастотном слухе или односторонняя глухота — усложнило применение жестких протоколов отбора. В сложных случаях методы машинного обучения стали применяться для поддержки принятия решений о показаниях к

КИ с учетом множества параметров пациента [12]. В исследовании A. Patro с участием 587 пациентов была разработана модель на основе алгоритма Random Forest, анализирующая совокупность демографических и аудиологических показателей. Эта модель машинного обучения сравнивалась с традиционными критериями отбора и продемонстрировала гораздо более высокую точность: чувствительность 92% и специфичность 100% в выявлении показаний к КИ, тогда как стандартные критерии дали специфичность лишь 42%. Модель учитывала возраст пациента, пороги слуха на ряде частот и результаты разборчивости речи и показала, что индивидуализированный подход на основе ИИ способен эффективнее идентифицировать кандидатов, соответствующих новым сложным критериям отбора на КИ [13]. Carlson и соавт., 2024 проанализировали ретроспективные данные 700 взрослых пациентов с тугоухостью, определив, по речевым тестам AzBio, CNC кандидатов на КИ. Полученная модель смогла предсказать необходимость имплантации с точностью 87% при чувствительности 90%, что подтверждает возможность применения машинного обучения для автоматизации клинических решений об имплантации [10]. Помимо решения вопроса, о необходимости КИ, искусственный интеллект активно используется для прогнозирования результатов КИ еще до операции. Это важно и для понимания ожиданий семьи кандидата и планирования реабилитации. Традиционные факторы (возраст имплантации, длительность глухоты и др.) известны, но их недостаточно. ИИ позволяет учесть множество параметров сразу и выдать вероятностный прогноз результата по речи и слуху [14]. В другом анализе Zeitler и соавт., 2024, сравнили различные алгоритмы ИИ для прогнозирования остаточного слуха. XGBoost показал наилучший результат. Точность составила около 83%. Важными показателями оказались низкочастотные пороги слуха до операции, наличие менингита в анамнезе (положительное влияние) и, напротив, отягчающее влияние курения или аномалий внутреннего уха [14]. Эти модели позволяют заранее определять пациентов, кому может потребоваться электро-акустическая стимуляция (EAS), и обсуждать с ними прогноз сохранения слуха.

Анатомические и радиологические данные также используются в прогнозировании результатов КИ с использованием ИИ. Для КТ височных костей продемонстрирована высокая эффективность 3D-сетей в диагностике хронического среднего отита и холестеатомы (AUC до 0,96; точность ~78–88% с внешней валидацией), сопоставимая или превосходящая результаты врачей-ординаторов; сегментация достигает высоких коэффициентов Дайса для лабиринта и канала лицевого нерва, ускоряя планирование и снижая риск осложне-

ний. В МРТ уха ИИ обеспечивает воспроизводимую сегментацию внутренних структур (средний DSC ~0,88), автоматизированную волюметрию вестибулярных шванном и объективизацию динамики; радиомические модели расширяют неинвазивную оценку гидропса и прогноз исходов. Во многих задачах производительность алгоритмов сопоставима с экспертами, а методы объяснимости (Grad CAM, карты внимания) повышают доверие и интерпретируемость. [16]. Weng и коллеги применили алгоритм KNN (K-Nearest Neighbours) для анализа трехмерных моделей улитки с использованием КТ у пациентов с врожденными аномалиями уха. Модель предсказывала результаты реабилитации с точностью 93,3% и успешность развития речи с точностью 86,7%, при этом ключевыми показателями оказались объем улитки и длина улиткового канала [17]. Это подчеркивает ценность точной предоперационной визуализации. Особенно сложной группой остаются дети с аномалиями внутреннего уха, например, гипоплазией слухового нерва [18]. В исследовании 70 детей с гипоплазией слухового нерва была реализована модель машинного обучения (support vector machine) для прогноза эффективности реабилитации через 2 года после КИ. По интегральным шкалам слухового восприятия (CAP), разборчивости речи (SIR), шкалам использования устной речи и слуховой интеграции (MAIS/MUSS) точность прогноза составила 71% для показателей слуха и 93% для показателей речи [20]. Согласно этой модели ключевым фактором исхода был поперечный размер слухового нерва и количество пучков нервных волокон, тогда как возраст имплантации и степень исходного остаточного слуха значимой роли не сыграли [19]. Таким образом, ИИ позволяет выявить неожиданные закономерности: морфология нерва может быть важнее для результата реабилитации, чем возраст или состояние слуха до операции.

Кроме специализированных алгоритмов ИИ используются и генеративные модели для создания ассистентов по принятию решений. В пилотном исследовании 2025 года использовали большие языковые модели (ChatGPT-4 и Microsoft Copilot). Анализировались аудиограмма, эффективность слухового аппарата, наличие шума в ушах, данные КТ. Система рекомендовала выбор уха для КИ [21]. Предложенные ИИ стороны имплантации в значительной степени совпадали с решениями врача (у Copilot — до 75–90% совпадения). ChatGPT продемонстрировал меньшую точность в выборе стороны операции и лучшие результаты в анализе радиологических данных и шума в ушах. Эти результаты свидетельствуют, что ИИ, обученный на больших объемах медицинских знаний, потенциально может выступать в роли хорошей поддержки для сурдолога при оцен-

ке кандидата на КИ. ИИ становится важным компонентом предоперационной оценки пациентов, Отдельные центры КИ начинают внедрять в клиническую практику модели для оценки показаний к КИ на основе машинного анализа аудиограмм и результатов тестов, оценивающих разборчивость речи. В перспективе, по мере накопления баз данных, подобные системы смогут работать в режиме реального времени — например, интегрируясь в электронную историю болезни и подсказывая врачу оптимальное решение для каждого нового пациента с тяжелой тугоухостью [18].

Искусственный интеллект на этапе хирургического вмешательства и интраоперационной поддержки. Хирургическая техника кохлеарной имплантации в настоящее время является стандартизированной и безопасной. Тем не менее, в сложных случаях человеческий фактор и анатомические особенности увеличивают риски травмы внутреннего уха при работе бором или введении электрода, особенно у пациентов с аномалиями развития внутреннего уха. Роботизированные системы и алгоритмы ИИ позволяют повысить точность манипуляций и минимизацию травмы при операции. Одной из новых технологий в кохлеарной имплантации стал робот-ассистированный хирургический доступ к улитке. В традиционной технике хирург вручную выполняет мастоидотомию и кохлеостомию — это требует высокого мастерства, особенно при сохранении структур улитки для электро-акустической стимуляции. Роботизированные системы, такие как HEARO®, RobOtol®, а также установки, разработанные в университетах (Вандербильт, Ганновер, Берн и др.), позволяют выполнять доступ с субмиллиметровой точностью под контролем КТ-навигации. До операции выполняется высокоразрешающая КТ височной кости, на которой алгоритмы искусственного интеллекта строят оптимальный путь к улитке, сохраняющий жизненно важные структуры (лицевой нерв, сигмовидный синус и т. д.). Во время операции робот использует систему координат с опорой на закрепленные на голове маркеры и автоматически корректирует траекторию инструмента в реальном времени [22]. Дополнительное преимущество роботохирургии — возможность медленного введения электродной решетки с контролируемой скоростью под оптимальным углом. Было показано, что при ручном введении хирург вводит электрод со скоростью до 0,8–1 мм/с. Система HEARO® может вводить электрод с постоянной скоростью около 0,1 мм/с, фактически исключая резкие толчки [23]. За счет этого снижается пиковое давление внутри улитки и риск травмы уязвимых структур (кортиевого органа, спирального ганглия). В лабораторных условиях в экспериментах на височных костях было продемонстрировано, что роботизирован-

ное введение электрода сопровождается меньшим повреждением улитки [24]. В работе Togges et al. сравнивали 20 височных костей, имплантированных вручную и с помощью RobOtol®, и обнаружили, что при роботизированном введении с контролем скорости 0,25 мм/с значительно повышалась вероятность попадания электродной решетки в барабанную лестницу, снижалась травматизация и обеспечивалось более глубокое введение электродной решетки без повышенного риска травматизации [24].

Еще одно направление искусственного интеллекта в хирургии кохлеарной имплантации — интраоперационный мониторинг с обеспеченной непрерывной обратной связью. В нем применяются датчики и алгоритмы для контроля положения и состояния электродной решетки в момент введения. Так, Hafeez и соавт. (2021) разработали систему, в которой роботизированное введение сопровождалось непрерывным измерением импеданса электродов при разных углах введения [25]. Было проведено 137 экспериментов по введению электродов с записью параметров телеметрии. Алгоритмы ИИ были обучены распознавать нежелательное отклонение электродов по неполным данным расположения электродной решетки. Точность составила 86,1%. ИИ может мгновенно уведомить хирурга или остановить робота в случае обнаружения выхода из Scala tympani. Такой механизм обратной связи с ИИ способен повысить точность расположения электродной решетки и снизить вероятность ее неполного и травматичного введения. Другой подход к контролю — использование телеметрических данных после имплантации для оценки позиции электродной решетки. Например, предложена модель «Extremely Randomized Trees» для предсказания глубины установки электродов по данным телеметрии кохлеарного импланта [26]. В выборке 118 пациентов с латерально расположенными электродами модель предсказала глубину введения со средней погрешностью 0,8 мм, что весьма точно, учитывая средний интервал между электродами ~2,1 мм [26]. Хотя точность уступает высокочастотной КТ, такой подход может частично заменить рентген-контроль положения электрода, особенно у детей, уменьшая лучевую нагрузку. Ahmed O. et al. (2025) отмечают, что хотя роботы ощутимо снижают механическую травму и стандартизируют технику, улучшения речевых показателей пациентов по сравнению со стандартной хирургией не продемонстрировано [27, 28]. Вероятно, это связано с тем, что конечный результат зависит от множества факторов — нейропластичности, настройки и др. Постепенно ИИ входит в арсенал ото-хирургов. Даже если в ближайшие годы робот останется только помощником хирурга, применение человеческого опыта, точности роботов и ИИ

дает синергетический эффект, повышая безопасность и предсказуемость кохлеарной имплантации.

Искусственный интеллект на этапе постоперационного программирования кохлеарных имплантов. После проведенной кохлеарной имплантации не менее важным этапом является программирование речевого процессора — настройка параметров стимуляции для данного пациента. Этот процесс включает определение минимальных и максимальных уровней тока для каждого электрода, баланс громкости между каналами, выбор стратегии кодирования звука и др. Традиционно настройка проводится аудиологом вручную и требует обратной связи от пациента или наблюдения поведенческих реакций у детей. Это трудоемкий и субъективный процесс. У детей раннего возраста точная настройка затруднена из-за невозможности их активного участия, и часто первые месяцы после включения настройка КИ неоптимальная. В этой области алгоритмы искусственного интеллекта стали применяться для автоматизации процесса, что может ускорить реабилитацию и устранить влияние человеческого фактора [29]. Один из пионеров в этой области — экспертная система FOX (Fitting to Outcome eXpert), представляющая собой программное обеспечение с элементами ИИ, разработанное для автоматического подбора параметров КИ. В одном из исследований 47 опытных пользователей КИ сравнивали две ситуации: сначала имплант настроен опытным аудиологом, затем тех же пациентов перепрограммировали с помощью алгоритма FOX [30]. Оценка результатов показала, что группа с автоматической настройкой продемонстрировала улучшение порогов слуха и рост разборчивости речи по сравнению с экспертной настройкой. Причем 89% пользователей предпочли звучание при настройке системой FOX, субъективно оценив его как более качественное. В другом исследовании 55 пациентов сначала настроили вручную, а затем перенастроили при помощи FOX. У 84% из них разборчивость речи (CNC и AzBio) остались такими же, как при ручной настройке, то есть автоматический метод не уступил по эффективности. Более того, 82% пациентов остались довольны качеством звука после автоматизированной настройки. Эти данные свидетельствуют о том, что машинное обучение способно корректно подобрать карту стимуляции, а в некоторых случаях (особенно на высоких частотах) — даже лучше, вероятно за счет более тонкого учета пороговых уровней настройки у взрослых пациентов [31].

Электрически вызванный суммационный потенциал действия слухового нерва (ЕСАР) регистрируется у большинства имплантированных пациентов и отражает возбудимость нервных волокон на каждом электроде [29]. Уже в 2010-х го-

дах предпринимались попытки с помощью ИИ определять пороги ЕСАР автоматически для последующей установки минимальных уровней стимуляции. Современные машинные алгоритмы позволяют быстро обработать большие массивы ЕСАР-ответов, выделить пороговые точки и даже косвенно оценить состояние слухового нерва. Например, Skidmore et al. (2021) создали «индекс состояния улиткового нерва» на основе машинного анализа ЕСАР. Алгоритмы линейной регрессии и SVM классифицировали пациентов с гипоплазией нерва и нормальным нервом с точностью 91–95% [32].

В будущем развития технологий ИИ возможна самостоятельная коррекция карты настройки. В имплант может быть встроена система, которая с помощью ИИ отслеживает изменения порогов или изменение других параметров у пользователя со временем и автоматически корректирует уровни стимуляции. Таким образом, роль аудиолога постепенно смещается от рутинного подбора параметров КИ к контролю результатов работы ИИ-системы и решению нестандартных случаев.

Искусственный интеллект для улучшения обработки речи и слуховых результатов (шум, речь, музыка). Несмотря на успешное восстановление восприятия звуков, пользователи кохлеарных имплантов по-прежнему сталкиваются с целым рядом сложностей. Наиболее серьезная из них — понимание речи в шуме. Ограниченное спектральное и временное разрешение современных КИ приводит к тому, что в сложной акустической обстановке (фоновые шумы, реверберация, одновременная речь нескольких говорящих) разборчивость речи у пользователей КИ снижается до 50%. Традиционные алгоритмы шумоподавления и кодирования, внедренные в коммерческие процессоры, дают лишь частичное решение. Здесь на помощь приходят методы глубокого обучения, позволяющие создавать принципиально новые алгоритмы обработки звукового сигнала. Goehring et al. (2017) предложили алгоритм шумоподавления на основе глубокого обучения, специально адаптированный под спектральные особенности слуха с КИ. Они обучили нейронную сеть выделять речь, подмешанную с различными типами фонового шума (речь-подобный шум, шум толпы и др.), и протестировали результат на 14 пациентах с КИ. По сравнению с исходным сигналом использование алгоритма ИИ привело к увеличению соотношения сигнал/шум, на 5–6 дБ. Особенно эффективно оказалось персонализированное обучение сети под голос говорящего, что требовало отдельной настройки под каждого, но давало максимальный эффект [33]. Помимо шума, реверберация (эхо) также затрудняет понимание — отраженные звуковые волны искажают речевой сигнал. Desmond J. M. и соавт. разработали модель на ос-

нове relevance vector machine, которая анализировала искусственно смоделированные отраженные сигналы по каналам импланта и смогла обнаруживать наличие реверберации с точностью около 90% [34]. О Hazrati и др. показали возможность технологии, которая анализирует акустическую обстановку и автоматически переключает режимы процессора. Точность классификации условий окружающей среды варьировалась между 95 и 97%, где лучший результат 97,79% показал SVM, несмотря на ограниченные данные для обучения. Особенно это актуально для автоматической смены программ процессора — современные устройства позволяют задавать разные настройки для тишины, шума, музыки, но пользователь должен переключать ручную или по уровню шума [35]. С внедрением ИИ процессор сможет сам адаптироваться к окружению с почти человеческой интуицией, распознав не только громкость, но и акустическую обстановку.

Искусственный интеллект в слухоречевой реабилитации. Хирургия и настройка речевого процессора — лишь часть пути к успешной слуховой реабилитации. Не менее важна постоперационная слухоречевая реабилитация — комплекс занятий и тренировок, позволяющих пользователю КИ максимально эффективно использовать КИ для понимания речи и развития языка. Традиционно реабилитация требует регулярных занятий с сурдопедагогом или логопедом, что сталкивается с такими проблемами, как нехватка специалистов, географическая отдаленность пациентов, экономические и временные издержки. Современные технологии, включая ИИ, открывают новые возможности для дистанционной, персонализированной реабилитации. Пример реабилитации с использованием ИИ — приложение ReDi (Remote Digital Rehabilitation, MED-EL), основанное на алгоритмах ИИ. Это мобильное приложение предоставляет пользователю индивидуально подобранные упражнения по слуховой тренировке и речи и позволяет выполнять их дома, получая мгновенную обратную связь [36]. Приложение поддерживает более 155 языков и диалектов, что важно, поскольку пациенты КИ по всему миру говорят на разных языках. Клинический специалист дистанционно назначает курсы занятий через ReDi, а ИИ-модуль адаптирует уровень сложности заданий под текущие успехи и ошибки пациента, подбирая оптимальную нагрузку. Для ребенка могут подбираться игровые упражнения на распознавание простых слов, с красочными картинками и звуковой обратной связью. Главное преимущество такого подхода — снятие барьеров доступа к реабилитации. Исследования показывают, что пациенты из сельской местности, семьи с низким достатком сталкиваются с задержкой в начале реабилитации или недостаточным ее объемом. Это

связано с отсутствием поблизости центров реабилитации, стоимостью реабилитации, необходимостью отлучаться с работы и пр. В результате дети из неблагополучных семей получают меньше поддержки после имплантации, что сказывается на развитии речи. При этом исследование Noblitt et al. (2018) отмечало необходимость сокращения разрыва в доступности терапии у таких уязвимых групп [37]. Dornhoffer et al. (2022) провели исследование, в котором новые взрослые пользователи КИ первые 3 месяца после активации дополнительно выполняли самостоятельные упражнения на компьютере дома. Результат — значимое улучшение распознавания речи и показателей качества жизни по опроснику CIQOL у тех, кто делал упражнения, по сравнению с контрольной группой [38]. ИИ в реабилитации — это не только возможность самостоятельных занятий, но и персонализированный подход. ИИ-системы способны анализировать успеваемость пациента по разным типам заданий и фокусировать больше времени на проблемных областях. Более того, учитываются и психосоциальные аспекты: современные реабилитационные платформы включают модули мотивации, отслеживания настроения, дают советы по преодолению стрессов, связанных с потерей слуха [39]. ИИ может напоминать о занятиях, хвалить за прогресс, что повышает приверженность пациента к длительной программе. Технологии также позволяют контролировать программу реабилитации удаленно.

ИИ уже сейчас способен взять на себя рутинную часть ежедневной тренировки слуха у пользователей КИ, разгрузив специалистов в межреабилитационный период. Особенно это касается взрослых пациентов, которые могут самостоятельно мотивировать себя и дисциплинированно заниматься с использованием дистанционных программ и приложений. Интересно, что исследования показывают улучшение когнитивных функций у пожилых пациентов с КИ старше 65 лет, которые практикуют слуховые тренировки [40]. Улучшалась оперативная память, скорость обработки информации — вероятно, за счет вовлечения мозга в активное обучение воспринимать новые звуки. Это говорит о том, что слуховая реабилитация приносит пользу не только слуху,

но и общему когнитивному здоровью пожилых, что особенно актуально на фоне данных о повышенном риске деменции при потере слуха.

Заключение

Использование методов искусственного интеллекта (ИИ) обеспечивает поддержку на всех этапах кохлеарной имплантации — от предоперационного отбора и стратификации рисков до интраоперационного контроля, автоматизированного программирования речевых процессоров и персонализированной слухоречевой реабилитации. ИИ-модели на основании совокупности демографических, аудиологических и радиологических признаков повышают точность отбора кандидатов на КИ и предсказуемость эффективности реабилитации, включая группы с «пограничными» показаниями и аномалиями внутреннего уха. Робот-ассистированные технологии с использованием алгоритмов компьютерного зрения и навигации оптимизируют ключевые этапы операции, позволяя оптимизировать траекторию и скорость введения электрода, снижая риск ятрогенной травмы. Интраоперационный и послеоперационный анализ телеметрии с применением ИИ позволяет обнаруживать отклонение электрода от оптимального положения в улитке и частично заменить рентгенологический контроль после операции, уменьшая лучевую нагрузку.

В постоперационном периоде ИИ-инструменты автоматизируют настройку речевого процессора на базе объективных ответов (ЕСАР) и поведенческих тестов. Глубокие нейронные сети позволяют улучшить обработку речи в шуме и расширяют доступность непрерывной реабилитации за счет телеплатформ с адаптивным обучением. При этом авторы подчеркивают необходимость многоцентровых проспективных исследований, валидации алгоритмов на разнородных когортах, стандартизации метрик и проработки этических аспектов для безопасной и воспроизводимой интеграции ИИ в практику врача-сурдолога-оториноларинголога. Современное развитие информационных технологий и систем искусственного интеллекта позволяет значительно автоматизировать и повысить эффективность одного из сложных направлений в оториноларингологии.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Королева И. В. Кохлеарная имплантация глухих детей и взрослых. СПб.: КАРО, 2009. 752 с.
Koroleva I. V. Cochlear implantation of deaf children and adults. Saint Petersburg: KARO, 2009. 752 p. (In Russ.)
2. Zeng FG. Celebrating the one millionth cochlear implant. *JASA Express Lett.* 2022 Jul;2(7):077201. <https://doi.org/10.1121/10.0012825>. PMID: 36154048.
3. Fontenot TE, Giardina CK, Dillon M, Rooth MA, Teagle HF, Park LR, Brown KD, Adunka OF, Buchman CA, Pillsbury HC, Fitzpatrick DC. Residual Cochlear Function in Adults and Children Receiving Cochlear Implants: Correlations With Speech Perception Outcomes. *Ear Hear.* 2019 May/Jun;40(3):577–591. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000630>

4. Корнеев А. А., Рязанцев С. В., Фанта И. В., Вяземская Е. Э., Левин С. В., Левина Е. А. Пространственный анализ данных в эпидемиологии сенсоневральной тугоухости. *Российская оториноларингология*. 2020;19(4):13–20. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-4-13-20>
Korneenkov A. A., Ryazantsev S. V., Fanta I. V., Vyazemskaya E. E., Levin S. V., Levina E. A. Spatial Data Analysis in epidemiology of sensorineural hearing loss. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2020;19(4):13–20. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-4-13-20>
5. Mosaed NAM., Mohamed ES., Youssif M et al. Preoperative variables affecting outcome of cochlear implant. *Egypt J Otolaryngol*. 2024;40:113. <https://doi.org/10.1186/s43163-024-00563-y>
6. Корнеев А. А., Левина Е. А., Вяземская Е. Э., Левин С. В., Скрипичников И. Н. Пространственный кластерный анализ в моделировании доступности медицинской помощи пожилым пациентам с нарушениями слуха. *Российская оториноларингология*. 2021;20(6):8–19. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-6-8-19>
Korneenkov A. A., Levina E. A., Vyazemskaya E. E., Levin S. V., Skirpichnikov I. N. Spatial cluster modeling of access of elderly patients with hearing loss to medical services. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2021;20(6):8–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-6-8-19>
7. Demirtaş Yılmaz B. Prediction of Auditory Performance in Cochlear Implants Using Machine Learning Methods: A Systematic Review. *Audiol Res*. 2025 May 8;15(3):56. <https://doi.org/10.3390/audiolres15030056>
8. Диаб Х. М., Дайхес Н. А., Каибов А. А., Пашинина О. А., Араби А. Хирургическое лечение пациентов с отосклерозом с IV степенью тугоухости и глухотой. *Голова и шея. Российский журнал = Head and neck. Russian Journal*. 2020;8(3):35–43. <https://doi.org/10.25792/HN.2020.8.3.35-43>
Diab Kh. M., Daikhes N. A., Kaibov A. A., Pashchinina O. A., Arabi A. Surgical treatment of patients with otosclerosis with grade IV hearing loss and deafness. *Head and neck. Russian Journal*. 2020;8(3):35–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.25792/HN.2020.8.3.35-43>
9. Dou Z, Li Y, Deng D, Zhang Y, Pang A, Fang C, Bai X, Bing D. Pure tone audiogram classification using deep learning techniques. *Clin Otolaryngol*. 2024 Sep;49(5):595–603. <https://doi.org/10.1111/coa.14170>
10. Левин С. В., Наркевич А. Н., Янов Ю. К., Вахрушев С. Г., Кузовков В. Е., Левина Е. А., Воронов В. А., Шапорова А. В. Настройка речевых процессоров с применением алгоритмов нейросетевой системы. *Consilium Medicum*. 2018;20(3):73–76. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32709064>
Levin S. V., Narkevich A. N., Yanov Yu. K., Vakhrushev S. G., Kuzovkov V. E., Levina E. A., Voronov V. A., Shaporova A. V. Fitting of speech processors using algorithms of the neural network system. *Consilium Medicum*. 2018;20(3):73–76. (In Russ.) <https://elibrary.ru/item.asp?id=32709064>
11. Carlson ML, Carducci V, Deep NL, DeJong MD, Poling GL, Brufau SR. AI model for predicting adult cochlear implant candidacy using routine behavioral audiometry. *Am J Otolaryngol*. 2024 Jul–Aug;45(4):104337. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2024.104337>
12. Patro A, Freeman MH., Haynes DS. Machine Learning to Predict Adult Cochlear Implant Candidacy. *Curr Otorhinolaryngol Rep*. 2024;12:45–49. <https://doi.org/10.1007/s40136-024-00511-7>
13. Patro A, Perkins EL, Ortega CA, Lindquist NR, Dawant BM, Gifford R, Haynes DS, Chowdhury N. Machine Learning Approach for Screening Cochlear Implant Candidates: Comparing With the 60/60 Guideline. *Otol Neurotol*. 2023 Aug 1;44(7):e486–e491. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000003927>
14. Shafiro V, Harris MS, Ramirez B, Du L, Moberly AC. Accuracy and variability in clinical predictions of speech recognition outcomes for cochlear implant users. *International Journal of Audiology*. 2025;64(7):685–694.
15. Zeitler DM, Buchlak QD, Ramasundara S, Farrokhi F, Esmaili N. Predicting Acoustic Hearing Preservation Following Cochlear Implant Surgery Using Machine Learning. *Laryngoscope*. 2024 Feb;134(2):926–936. <https://doi.org/10.1002/lary.30894>
16. Пашков А. В., Наумова И. В., Пашкова А. Е., Воеводина К. И. Анализ анатомических параметров улитки для повышения эффективности кохлеарной имплантации. *Head and neck. Голова и шея. Российский журнал*. 2023;11(3):56–60. <https://doi.org/10.25792/HN.2023.11.3.56-60>
Pashkov A. V., Naumova I. V., Pashkova A. E., Voevodina K. I. Analyzing anatomical parameters of the cochlea to improve the effectiveness of cochlear implantation. *Head and neck. Russian Journal*. 2023;11(3):56–60. (In Russ.) <https://doi.org/10.25792/HN.2023.11.3.56-60>
17. Weng J, Xue S, Wei X, Lu S, Xie J, Kong Y, Shen M, Chen B, Chen J, Zou X, Zhang X, Gao Z, Liu P, Shi Y, Cui D, Li Y, Wang H. Machine learning-based prediction of the outcomes of cochlear implantation in patients with inner ear malformation. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2024 Jul;281(7):3535–3545. doi: 10.1007/s00405-024-08463-w..
18. Кузовков В. Е., Лиленко А. С., Сугарова С. Б., Лунтовская П. А., Харитонов П. Р. Нелинейный способ измерения протяженности участка облитерации базального завитка улитки. Материалы научной конференции «Современные достижения в лечении заболеваний верхних дыхательных путей и уха». К 95-летию Санкт-Петербургского научно-исследовательского института уха, горла, носа и речи. XIV форум оториноларингологов России. 22–24 апреля 2025 г. Санкт-Петербург: Полифорум Групп, 2025. 230 с. С. 127–128.
Kuzovkov V. E., Lilenko A. S., Sugarova S. B., Luntovskaya P. A., Kharitonova P. R. Nonlinear method for measuring the length of the obliterated area of the basal turn of the cochlea. Proceedings of the scientific conference „Modern achievements in the treatment of diseases of the upper respiratory tract and ear“. Dedicated to the 95th anniversary of the Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech. XIV Forum of Otolaryngologists of Russia. April 22–24, 2025. Saint Petersburg: Polyforum Group, 2025. 230 p., pp. 127–128. (In Russ.)
19. Сугарова С. Б., Клячко Д. С., Лиленко А. С., Каляпин Д. Д. Особенности аудиологической работы с пациентами после кохлеарной имплантации с аномалиями развития внутреннего уха. Материалы научной конференции

- «Современные достижения в лечении заболеваний верхних дыхательных путей и уха». К 95-летию Санкт-Петербургского научно-исследовательского института уха, горла, носа и речи. XIV форум оториноларингологов России. 22–24 апреля 2025 г. Санкт-Петербург: Полифорум Групп, 2025. 230 с. С. 131–132.
- Sugarova S. B., Klyachko D. S., Lilenko A. S., Kalyapin D. D. Features of audiological work with patients after cochlear implantation with anomalies of the inner ear. Proceedings of the scientific conference „Modern achievements in the treatment of diseases of the upper respiratory tract and ear“. Dedicated to the 95th anniversary of the Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech. XIV Forum of Otolaryngologists of Russia. April 22–24, 2025. Saint Petersburg: Polyforum Group, 2025. 230 p. pp. 131–132.
20. Lu S, Xie J, Wei X, Kong Y, Chen B, Chen J, Zhang L, Yang M, Xue S, Shi Y, Liu S, Xu T, Dong R, Chen X, Li Y, Wang H. Machine Learning-Based Prediction of the Outcomes of Cochlear Implantation in Patients With Cochlear Nerve Deficiency and Normal Cochlea: A 2-Year Follow-Up of 70 Children. *Front Neurosci.* 2022 Jun 23;16:895560. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.895560>
 21. Portelli D, Loteta S, D'Angelo M, Galletti C, Freni L, Bruno R, Ciodaro F, Alibrandi A, Alberti G. ChatGPT and Microsoft Copilot for Cochlear Implant Side Selection: A Preliminary Study. *Audiol. Res.* 2025;15:100. <https://doi.org/10.3390/audiolres15040100>
 22. Ahmed O, Wang M, Zhang B, Irving R, Begg P, Du X. Robotic Systems for Cochlear Implant Surgeries: A Review of Robotic Design and Clinical Outcomes. *Electronics.* 2025;14:2685. <https://doi.org/10.3390/electronics14132685>
 23. Weber S, Bell B, Gerber N, Williamson T, Brett P, Du X, Caversaccio M, Proops D, Coulson C, Reid A. Minimally invasive, robot assisted cochlear implantation. In: Proc. 3rd Joint Workshop on New Technologies for Computer/Robot Assisted Surgery (CRAS 2013); Toowoomba, Australia; 11–13 Sept 2013. pp. 11–13.
 24. Rajan GP, Kontorinis G, Kuthubutheen J. The Effects of Insertion Speed on Inner Ear Function during Cochlear Implantation: A Comparison Study. *Audiol. Neurotol.* 2012;18(1):17–22. <https://doi.org/10.1159/000342821>
 25. Hafeez N, Du X, Boulgouris N, Begg P, Irving R, Coulson C, Tourrel G. Electrical impedance guides electrode array in cochlear implantation using machine learning and robotic feeder. *Hear Res.* 2021;412:108371. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2021.108371>
 26. Schraivogel S, Weder S, Mantokoudis G, Caversaccio M, Wimmer W. Predictive Models for Radiation-Free Localization of Cochlear Implants' Most Basal Electrode using Impedance Telemetry. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2024;72:1453–1464. <https://doi.org/10.1109/TBME.2024.3509527>
 27. Perkins E, Lee J, Manzoor N, O'Malley M, Bennett M, Labadie R, Rivas A, Haynes D, Gifford R. The Reality of Hearing Preservation in Cochlear Implantation: Who Is Utilizing EAS? *Otol. Neurotol.* 2021;42:832–837.
 28. Marinelli J, Carlson M. Hearing preservation in pediatric cochlear implantation. *Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2024;32:410–415.
 29. Янов Ю. К., Левин С. В., Вахрушев С. Г., Наркевич А. Н., Кузовков В. Е., Россиев Д. А., Левина Е. А., Ермайкина Е. А., Храмов А. В. Реабилитация глухих детей после кохлеарной имплантации с применением интеллектуальной нейросетевой системы. *Медицинский академический журнал.* 2016;16(1):90–96. <https://elibrary.ru/item.asp?id=25995131>
Yanov Y. K., Levin S. V., Vachrushev S. G., Narkevich A. N., Kuzovkov V. E., Rossiev D. A., Levina E. A., Ermaikina E. A., Khramov A. V. Rehabilitation of deaf children after cochlear implantation using an intelligent neural net system. *Medical Academic Journal.* 2016;16(1):90–96. <https://elibrary.ru/item.asp?id=25995131>
 30. Wathour J, Govaerts PJ, Lacroix E, Naïma D. Effect of a CI Programming Fitting Tool with Artificial Intelligence in Experienced Cochlear Implant Patients. *Otol. Neurotol.* 2023;44:209–215. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000003810>
 31. Waltzman SB, Kelsall DC. The Use of Artificial Intelligence to Program Cochlear Implants. *Otol. Neurotol.* 2020;41:452–457. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002566>
 32. Skidmore J, Xu L, Chao X, Riggs WJ, Pellitteri A, Vaughan C, Ning X, Wang R, Luo J, He S. Prediction of the Functional Status of the Cochlear Nerve in Individual Cochlear Implant Users Using Machine Learning and Electrophysiological Measures. *Ear Hear.* 2021;42:180–192. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000916>
 33. Goehring T, Bolner F, Monaghan JJM., van Dijk B, Zarowski A, Bleeck S. Speech enhancement based on neural networks improves speech intelligibility in noise for cochlear implant users. *Hear Res.* 2017;344:183–194. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.11.012>
 34. Desmond JM, Collins LM, Throckmorton CS. Using channel-specific statistical models to detect reverberation in cochlear implant stimuli. *J. Acoust. Soc. Am.* 2013;134:1112–1120. <https://doi.org/10.1121/1.4812273>
 35. Hazrati O, Sadjadi SO, Hansen JHL. Robust and efficient environment detection for adaptive speech enhancement in cochlear implants. In: Proc. IEEE ICASSP; Florence, Italy; 4–9 May 2014. Piscataway, NJ, USA: IEEE; 2014. pp. 900–904.
 36. MED EL Blog. How AI is transforming auditory rehabilitation care with the ReDi app. <https://blog.medel.pro/rehabilitation/how-ai-is-transforming-auditory-rehabilitation-care-with-the-redi-app/>
 37. Noblitt B, Alfonso KP, Adkins M, Bush ML. Barriers to rehabilitation care in pediatric cochlear implant recipients. *Otology & Neurotology.* 2018;39(5):e307–e313.
 38. Dornhoffer JR, Reddy P, Ma C, Schwartz-Leyzac KC, Dubno JR, McRackan TR. Use of auditory training and its influence on early cochlear implant outcomes in adults. *Otol. Neurotol.* 2022;43(2). <https://doi.org/10.1097/mao.0000000000003417>
 39. Zhang G, Chen R, Ghorbani H, Li W, Minasyan A, Huang Y, Lin S, Shao M. Artificial intelligence-enabled innovations in cochlear implant technology: Advancing auditory prosthetics for hearing restoration. *Bioeng Transl Med.* 2025 Jan 9;10(3):e10752. <https://doi.org/10.1002/btm2.10752>
 40. Häußler SM, Stankow E, Knopke S, Szczepek AJ, Olze H. Sustained cognitive improvement in patients over 65 two years after cochlear implantation. *Brain Sciences.* 2023;13(12):1673. doi: 10.3390/brainsci13121673

Вклад авторов

Определение концепции, работа с данными, пересмотр и редактирование рукописи — С. В. Левин
 Определение концепции, руководство исследованием — В. В. Дворянчиков
 Раздел 2. Написание черновика рукописи, пересмотр и редактирование рукописи — В. Е. Кузовков
 Раздел 1. Написание черновика рукописи, пересмотр и редактирование рукописи — В. А. Воронов
 Раздел 3. Написание черновика рукописи, пересмотр и редактирование рукописи — Е. А. Левина
 Определение концепции, редактирование рукописи — Ю. К. Янов
 Написание черновика рукописи, проведение исследования, пересмотр и редактирование рукописи — Р. А. Нариманов

Contribution of authors

Concept definition, data management, manuscript revision and editing — S. V. Levin
 Concept definition, research supervision — V. V. Dvoryanchikov
 Section 2. Manuscript drafting, manuscript revision and editing — V. E. Kuzovkov
 Section 1. Manuscript drafting, manuscript revision and editing — V. A. Voronov
 Section 3. Manuscript drafting, manuscript revision and editing — E. A. Levina
 Concept definition, manuscript editing — Yu. K. Yanov
 Manuscript drafting, research, manuscript revision and editing — R. A. Narimanov

Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты настоящей работы, гарантируют надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние 36 месяцев с третьими лицами (физическими и юридическими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи использовались технологии генеративного искусственного интеллекта. Применялся ChatGPT для поиска литературы, генерации текста и редактирования. Редактирование текстов было ограничено исправлениями грамматических, орфографических и пунктуационных ошибок. Применялся DeepL — для перевода с различных языков на русский язык. Все результаты поиска литературы были проверены вручную. Текст статьи, введение и заключение написаны авторами.

Информация об авторах

Левин Сергей Владимирович — кандидат медицинских наук, доцент, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); s.levin@niilor.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9770-7739>

Дворянчиков Владимир Владимирович — доктор медицинских наук, профессор, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); 3162256@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0925-7596>

Кузовков Владислав Евгеньевич — доктор медицинских наук, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); v_kuzovkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2581-4006>

Воронов Виктор Алексеевич — кандидат медицинских наук, доцент, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова (191015, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41); voronov.ent@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6755-7618>

Левина Елена Алексеевна — кандидат медицинских наук, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); e.levina@niilor.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0285-6526>

Янов Юрий Константинович — доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова (194044, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6, лит. Ж); 3162256@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9195-128X>

Нариманов Роберт Артурович — сурдолог, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); robertnarimanov40@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5792-0471>

Information about authors

Sergei V. Levin — Candidate of Sciences (Med.), Associate Professor, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 190013); s.levin@niilor.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9770-7739>

Vladimir V. Dvoryanchikov — Doctor of Sciences (Med.), Professor, Director, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 190013); 3162256@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0925-7596>

Vladislav E. Kuzovkov — Doctor of Sciences (Med.), Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 190013); v_kuzovkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2581-4006>

Viktor A. Voronov — Candidate of Sciences (Med.), Associate Professor, Mechnikov North-Western State Medical University (41, Kirochnaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 191015); voronov.ent@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6755-7618>

Elena A. Levina — Candidate of Sciences (Med.), Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 190013); e.levina@niilor.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0285-6526>

Yurii K. Yanov — Doctor of Sciences (Med.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; Kirov Military Medical Academy (6, Academician Lebedev str., Saint Petersburg, Russian Federation, 194044); 3162256@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9195-128X>

Robert A. Narimanov — Audiologist, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russian Federation, 190013); robertnarimanov40@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5792-0471>

Поступила / Received 28.09.2025

Поступила после рецензирования / Revised 10.10.2025

Принята в печать / Accepted 30.10.2025