

Автоматическое распознавание речи в оценке эффективности голосо-речевой реабилитации у пациентов после ларингэктомии

Н.А. Дайхес^{1,2}, В.В. Виноградов^{1,2}, С.С. Решульский^{1,2}, Т.И. Гаращенко^{1,2}, М.Л. Исаева^{1,3}, kuzukina@mail.ru, В.Ф. Прикулс^{1,3}, Е.Б. Федорова¹, К.В. Мищенко¹, Р.Р. Хабиев¹, С.М. Кочиева¹

¹ Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства России; 123182, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, корп. 2

² Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, д. 1

³ Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского; 129110, Россия, Москва, ул. Щепкина, д. 61/2

Резюме

Введение. Компенсация утраченной голосовой функции определяет личную и социальную жизнь пациентов после ларингэктомии. Широкое применение находят методы автоматического распознавания и синтеза речи в виде приложений для дополнительной и альтернативной коммуникации. Одной из актуальных задач в клинической практике является оценка эффективности результатов восстановления голосовой функции.

Цель. Оценить эффективность результатов голосо-речевой реабилитации ларингэктомизированных пациентов с использованием метода автоматической оценки разборчивости речи.

Материалы и методы. В исследование были включены 3 группы ларингэктомизированных пациентов по 30 человек в зависимости от метода голосо-речевой реабилитации (пищеводный голос, трахеопищеводное шунтирование с голосовым протезированием, голосообразующий аппарат) и 14 пациентов после различных оперативных вмешательств на гортани. Всем пациентам проводилась запись псевдоголоса для дальнейшей оценки фразовой разборчивости с использованием программного модуля автоматической оценки, а также подготовленным и неподготовленным слушателем.

Результаты и обсуждение. При сравнительном анализе результатов можно сказать, что система автоматического распознавания демонстрирует минимальный уровень разборчивости, что, по-видимому, связано с семантическим и контекстным распознаванием даже неподготовленным слушателем. Аларингеальная речь демонстрирует худшую распознаваемость по сравнению с органосохраняющими операциями на гортани у неподготовленных слушателей и при автоматическом распознавании. При этом опытные слушатели демонстрируют стабильно высокий уровень распознавания всех видов субститутивной речи.

Выводы. Объективизация оценки разборчивости субститутивной речи с помощью систем автоматического распознавания позволяет нивелировать семантическое и контекстуальное распознавание при оценке как подготовленным, так и неподготовленным слушателем. Системы автоматического распознавания речи имеют перспективы широкого распространения в восстановительной медицине, в частности в реабилитации пациентов с опухолями головы и шеи. Соотношение распознавания речи и понимания смысла высказывания представляет собой как сложную задачу для разработчиков, так и требует привлечения научной психологии.

Ключевые слова: рак гортани, голосовая реабилитация, пищеводный голос, трахеопищеводное шунтирование, электрогортань, псевдоголос, акустический анализ голоса

Для цитирования: Дайхес НА, Виноградов ВВ, Решульский СС, Гаращенко ТИ, Исаева МЛ, Прикулс ВФ, Федорова ЕБ, Мищенко КВ, Хабиев РР, Кочиева СМ. Автоматическое распознавание речи в оценке эффективности голосо-речевой реабилитации у пациентов после ларингэктомии. *Медицинский совет*. 2025;19(18):154–160. <https://doi.org/10.21518/ms2025-404>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Automatic speech recognition in voice-speech rehabilitation effectiveness evaluation in patients after laryngectomy

Nikolai A. Daikhes^{1,2}, Viacheslav V. Vinogradov^{1,2}, Sergei S. Reshulskii^{1,2}, Tatiana I. Garashchenko^{1,2}, Maria L. Isaeva^{1,3}, kuzukina@mail.ru, Vladislav F. Prikuls^{1,2,3}, Elena B. Fedorova¹, Konstantin V. Mishchenko¹, Ruslan R. Khabiev¹, Sabina M. Kochiyeva¹

¹ National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency of Russia; 30, Bldg. 2, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 123182, Russia

² Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia

³ Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirsky; 61/2, Bldg. 1, Schepkin St., Moscow, 129110, Russia

Abstract

Introduction. Lost voice function compensation determines the personal and social life of laryngectomees. Automatic speech recognition and synthesis methods are widely used as apps for additional and alternative communication. One of the urgent tasks in clinical practice is voice restoration effectiveness evaluation.

Aim. To evaluate the effectiveness of voice rehabilitation results in laryngectomized patients using the automatic assessment of speech intelligibility.

Materials and methods. 3 groups of 30 laryngectomized patients depending on the method of voice rehabilitation (esophageal voice, tracheoesophageal voice, electrolarynx), and 14 patients after various surgical interventions on the larynx were included. All patients underwent pseudo-voice recording for further assessment of phrasal intelligibility using the automatic assessment software module, as well as by a trained and untrained listener.

Results and discussion. Comparative analysis shows a minimum intelligibility level in automatic recognition, apparently due to semantic and contextual recognition even in untrained listener. Alaryngeal speech demonstrates worse recognition, compared to organ-preserving operations on the larynx, in untrained listeners and in automatic recognition. Experienced listeners demonstrate a consistently high level of recognition of all types of substitute speech.

Conclusion. Objectification of the intelligibility assessment of substitute speech using automatic recognition systems allows leveling semantic and contextual recognition during assessment by both trained and untrained listeners. Automatic speech recognition and synthesis systems have application prospects in rehabilitation medicine, in particular, in patients with head and neck cancer.

Keywords: larynx cancer, voice rehabilitation, esophageal speech, tracheoesophageal voice, electrolarynx, pseudovoice, voice acoustic analysis

For citation: Daikhes NA, Vinogradov VV, Reshulskii SS, Garashchenko TI, Isaeva ML, Prikuls VF, Fedorova EB, Mishchenko KV, Khabiev RR, Kochiyeva SM. Automatic speech recognition in voice-speech rehabilitation effectiveness evaluation in patients after laryngectomy. *Meditsinskiy Sovet.* 2025;19(18):154–160. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/ms2025-404>.

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

ВВЕДЕНИЕ

Компенсация утраченной голосо-речевой функции во многом определяет личную и социальную жизнь пациентов после удаления гортани [1–4]. Современные подходы, основанные на индивидуализации реабилитационного плана, привели к существенному улучшению качества жизни ларингэктомированных пациентов и их активной социализации [3, 5–7]. Все более широкое применение находят методы автоматического распознавания и синтеза речи в виде мобильных и десктопных приложений для дополнительной и альтернативной коммуникации [8–10].

Одной из актуальных задач в клинической практике является оценка эффективности результатов восстановления голосовой функции. Акустический анализ является общепризнанным методом объективной оценки качества голоса в рутинной фониатрической и логопедической практике, однако частотные и динамические метрики, используемые для оценки физиологического голосовоспроизведения, являются менее надежными при анализе аperiодической аларингеальной фонации и требуют нелинейных измерений [11–14]. Звуковой сигнал псевдоголоса у ларингэктомированных пациентов представляет собой аperiодические и крайне хаотические сигналы, что влияет и на разборчивость речи, несмотря на сохранность артикуляционного аппарата [15, 16]. При этом в повседневной жизни для пациента важна возможность передавать речевую информацию, чтобы она была понятна окружающим, и получать адекватную коммуникативную реакцию [17–19]. В логопедической практике для оценки разборчивости речи используется шкала Тардье, состоящая из 4 степеней. Также существует ряд критериев объективной оценки, регламентированных международными нормативными документами, в разной степени совпадающими

с результатами субъективной экспертизы. Для оценки разборчивости речи могут использоваться звуковые, слоговые, словесные и фразовые таблицы [20–23]. При вычислении процента правильного воспроизведения можно говорить о звуковой, слоговой, словесной или фразовой артикуляции. При этом термин «артикуляция» в данной ситуации используется в его инженерно-акустическом значении, т. е. ясности, или разборчивости, речи. Коэффициентом разборчивости служит отношение числа правильно воспринятых звуков к общему числу.

Цель – оценить эффективность результатов голосо-речевой реабилитации ларингэктомированных пациентов с использованием метода автоматической оценки разборчивости речи и провести сравнительный анализ разборчивости при оценке специалистом, неподготовленным слушателем и программой автоматического распознавания речи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Длительное общение с пациентами, имеющими выраженные нарушения голоса и речи, овладевшими тем или иным способом субститутивной фонации, приводит к тому, что специалисты профильных подразделений имеют хороший навык распознавания даже сильно измененной речи. Однако в бытовой и профессиональной сфере пациент сталкивается с абсолютно неподготовленными слушателями, и для них разборчивость субститутивной речи будет значительно ниже. Для объективизации оценки качества голоса и речи пациентов после операций на гортани нами был разработан программный модуль автоматического распознавания, преобразования в текст и оценки разборчивости субститутивной речи [24].

В исследование вошли 90 ларингэктомированных пациентов, стратифицированных на 3 равные группы

в зависимости от субститутивного голоса (пищеводный голос – ПГ, трахеопищеводное шунтирование с голосовым протезированием – ТПШ, электрогортань – ЭГ) [25]. Также нами был проведен сравнительный анализ разборчивости субститутивной речи по результатам оценки системой распознавания речи подготовленным слушателем (сотрудник отдела) и неподготовленным слушателем, не имеющим опыта общения с людьми, использующими заместительные механизмы голосо- и речеобразования [7, 26]. В исследование были включены 14 пациентов, перенесших различные оперативные вмешательства на гортани, из них 12 мужчин и 2 женщины.

Всем пациентам в звукоизоляционной кабине проводилась запись речи для дальнейшей оценки фразовой разборчивости. Пациенту необходимо было прочитать фразы и предложения, фонетически сбалансированные для субститутивного голоса ларингэктомированных пациентов [7, 20]. Текст представлен ниже.

*В бухту с моря налетел ветерок.
Прошло всего несколько минут.
Ледяная вода сводила руки.
Часовой стоял на берегу.
На столе мигала лампа.
Рыбаки прорубили лунку.
Писатель переселился в деревню.
По рельсам бегут поезда.
Любители музыки посещают кружок.
Он быстро распечатал письмо.
Обед приготовлен очень вкусный.*

Текстовый файл в формате .txt и аудиофайл в формате .wav с одноканальным звуком загружались в программный модуль, в котором в синхронном режиме проводилось распознавание речи, преобразование ее в текст и расчет разборчивости по метрике Левенштейна [24]. Результат исследования представляет собой процент разборчивости, рассчитанный автоматически, исходя из разницы распознанного и прочитанного текста (рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ

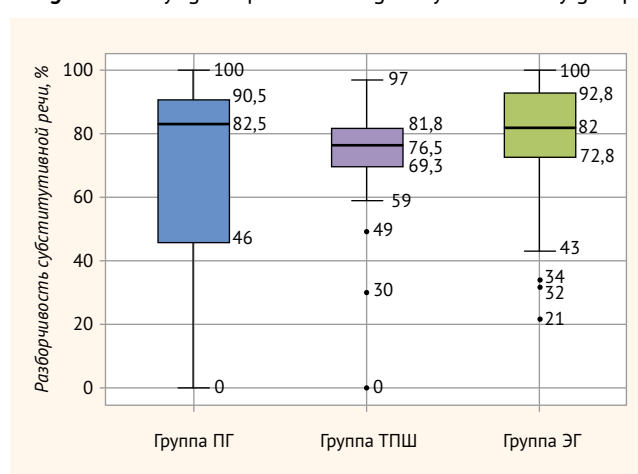
Разборчивость субститутивной аларингеальной речи ларингэктомированных пациентов в группе пищевого голоса составила $67,4 \pm 12,1\%$, в группе ТПШ – $71,1 \pm 8,8\%$, в группе электрогортани – $76,3 \pm 8,1\%$. При сравнении показателей разборчивости аларингеальной речи в оцениваемых группах не было выявлено статистически значимых различий между группами ($p = 0,422$), что продемонстрировано графически (рис. 2)¹ [25, 26].

¹ Исаева МЛ. Персонализированный подход к выбору способа голосовой реабилитации у пациентов после ларингэктомии: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М.; 2024. 174 с. Режим доступа: http://otolar-centre.ru/images/2014/dissovet/dissertations/Isaeva_ML/Диссертационная_работа_Исаева_М.Л.pdf

- **Рисунок 1.** Экранное представление результата исследования
- **Figure 1.** Screen display of the assessment result

```
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 3.9.0 (tags/v3.9.0:9cfc6752, Oct 5 2020, 15:34:40) [MSC v.1927 64 bit (AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
= RESTART: E:\My Documents\Dropbox\Python Projects\Test SpeechKit\voice_recon.py
Введите имя файла с записью речи пациента (расширение WAV, одноканальный звук, частота дискретизации: 8000, 16000 или 44000 Гц):ezhov22
Введите частоту дискретизации:16000
Введите имя файла с текстом, который воспроизводил пациент (расширение TXT):text22
Исходный текст:
Рыбаки прорубили лунку
Писатель переселился в деревню
По рельсам бегут поезда
Любители музыки посещают кружок
Он быстро распечатал письмо
Обед приготовлен очень вкусный
Текст, выданный Yandex SpeechKit:
Переселился в деревню на рельсам жбу канал письмо на обед ты помолвлен очень помолвлен
очень вкусно
Процент схожести распознанного и исходного текста: 51
>>> |
```

- **Рисунок 2.** Разборчивость аларингеальной речи в группах исследования
- **Figure 2.** Alaryngeal speech intelligibility in the study groups



Слоговая разборчивость в 80% и выше соответствует 90% и выше фразовой разборчивости и классифицируется как отличная. При восприятии речи семантическая и контекстуальная информация, заключенная в словах и фразах, приводит к увеличению разборчивости² [26, 27].

Результаты сравнительного анализа разборчивости субститутивной речи пациентов после оперативных вмешательств на гортани различного объема по результатам оценки системой распознавания речи подготовленным слушателем (сотрудник отдела) и неподготовленным слушателем, не имеющим опыта общения с людьми, использующими заместительные механизмы голосо- и речеобразования, представлены в таблице [25, 26].

На рис. 3 представлены результаты оценки разборчивости речи.

При сравнительном анализе результатов можно сказать, что система автоматического распознавания демонстрирует минимальный уровень разборчивости, что, по-видимому, связано с семантическим и контекстным распознаванием даже неподготовленным слушателем.

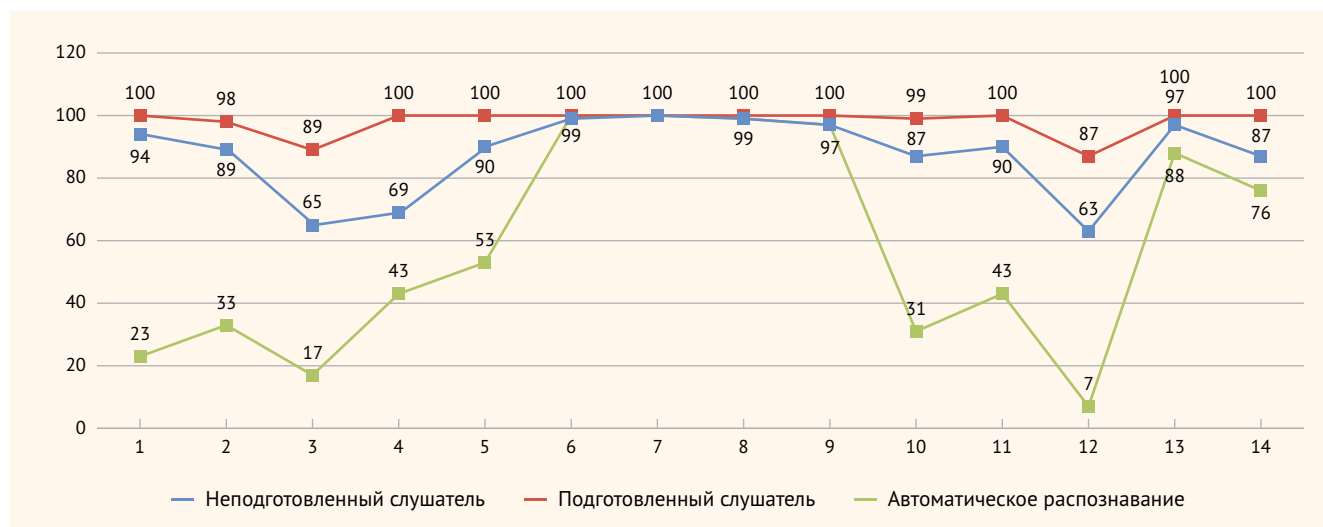
² Исаева МЛ. Персонализированный подход к выбору способа голосовой реабилитации у пациентов после ларингэктомии: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М.; 2024. 174 с. Режим доступа: http://otolar-centre.ru/images/2014/dissovet/dissertations/Isaeva_ML/Диссертационная_работа_Исаева_М.Л.pdf

- **Таблица.** Сравнительная характеристика разборчивости субститутивной речи
 ● **Table.** Comparative analysis of the substitutional speech intelligibility

| № пациента | Объем оперативного вмешательства | Источник субститутивной фонации | Показатель разборчивости речи, % | | |
|------------|------------------------------------|--|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| | | | Неподготовленный слушатель | Подготовленный слушатель | Автоматическое распознавание речи |
| 1 | Ларингэктомия | ТПШ, глоточно-пищеводный сегмент | 94 | 100 | 23 |
| 2 | Ларингэктомия | ПГ, глоточно-пищеводный сегмент | 89 | 98 | 33 |
| 3 | Ларингэктомия | ТПШ, глоточно-пищеводный сегмент | 65 | 89 | 17 |
| 4 | Фронтотеральная резекция гортани | Черпалонадгортанные складки | 69 | 100 | 43 |
| 5 | Фронтотеральная резекция гортани | Черпалонадгортанные складки | 90 | 100 | 53 |
| 6 | Двусторонняя вестибулохордотомия | Вестибулярные складки | 99 | 100 | 100 |
| 7 | Эндоларингеальная резекция гортани | Рубцово измененные голосовые складки | 100 | 100 | 100 |
| 8 | Эндоларингеальная резекция гортани | Рубцово измененные вестибулярные складки | 99 | 100 | 99 |
| 9 | Эндоларингеальная резекция гортани | Вестибулярные складки | 97 | 100 | 97 |
| 10 | Ларингэктомия | ПГ, глоточно-пищеводный сегмент | 87 | 99 | 31 |
| 11 | Ларингэктомия | ТПШ, глоточно-пищеводный сегмент | 90 | 100 | 43 |
| 12 | Ларингэктомия | ПГ, глоточно-пищеводный сегмент | 63 | 87 | 7 |
| 13 | Ларингэктомия | ТПШ, глоточно-пищеводный сегмент | 97 | 100 | 88 |
| 14 | Фронтотеральная резекция гортани | Черпалонадгортанные складки и надгортанник | 87 | 100 | 76 |

ТПШ – трахеопищеводное шунтирование с голосовым протезированием, ПГ – пищеводный голос.

- **Рисунок 3.** Результаты оценки разборчивости речи
 ● **Figure 3.** Speech intelligibility assessment results



Аларингеальная речь демонстрирует худшую распознаваемость, по сравнению с органосохраняющими операциями на гортани, у неподготовленных слушателей и при автоматическом распознавании [27–29]. При этом опытные слушатели демонстрируют стабильно высокий уровень распознавания всех видов субститутивной речи.

ВЫВОДЫ

На основании проведенного нами исследования можно заключить, что объективизация оценки разборчивости субститутивной речи с помощью систем автоматического распознавания речи позволяет нивелировать семантическое и контекстуальное распознавание, которое имеет место быть при оценке как подготовленным, так и неподготовленным слушателем.

Автоматическое распознавание и синтез речи являются одной из наиболее интенсивно используемых

в медицине ассистивных технологий на основе машинного обучения. Эти технологии все шире внедряются при создании приложений для пациентов с различными группами инвалидности. В настоящее время в отечественных медицинских учреждениях подобные системы применяются чрезвычайно редко, предоставляя широкие возможности разработчикам и дистрибьюторам по их внедрению и активному распространению в клинической практике. С другой стороны, для решения медицинских задач в современных условиях недостаточно одного лишь «механического» распознавания речи, требуется создание новых подходов, основанных на глубоком понимании и корректной интерпретации семантической и эмоциональной нагрузки информации, передаваемой в устной речи.



Поступила / Received 26.06.2025

Поступила после рецензирования / Revised 14.07.2025

Принята в печать / Accepted 05.08.2025

Список литературы / References

1. Дайхес НА, Виноградов ВВ, Решульский СС, Исаева МЛ, Федорова ЕБ, Хабазова АМ и др. Комплексная реабилитация пациентов после ларингэктомии: Основные вехи развития. *Российская оториноларингология*. 2022;21(1):93–104. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-1-93-104>. Daikhes NA, Vinogradov VV, Reshul'skii SS, Isaeva ML, Fedorova EB, Khabazova AM et al. Comprehensive rehabilitation of patients after total laryngectomy: major developmental milestones. *Rossiiskaya Otorinolaringologiya*. 2022;21(1):93–104. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-1-93-104>.
2. Дайхес НА, Виноградов ВВ, Решульский СС, Азизян РИ, Исаева МЛ. Функциональные и онкологические результаты эндоларингеальных лазерных резекций плоскоклеточного рака голосового отдела гортани. *Опухоли головы и шеи*. 2022;12(3):37–43. <https://doi.org/10.17650/2222-1468-2022-12-3-37-43>. Daikhes NA, Vinogradov VV, Reshul'skii SS, Azizyan RI, Isaeva ML. Functional and oncological results of endolaryngeal laser resections of squamous-cell carcinomas of the voice box. *Opuholi Golovy i Shi*. 2022;12(3):37–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.17650/2222-1468-2022-12-3-37-43>.
3. Кожанов АЛ. Современные аспекты лечения и реабилитации больных при раке гортани. *Опухоли головы и шеи*. 2016;6(2):17–25. <https://doi.org/10.17650/2222-1468-2016-6-2-17-24>. Kozhanov AL. Current aspects of treatment and rehabilitation of patients with pharyngeal cancer. *Opuholi Golovy i Shi*. 2016;6(2):17–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.17650/2222-1468-2016-6-2-17-24>.
4. Allegra E. Verbal performance of total laryngectomized patients rehabilitated with esophageal speech and tracheoesophageal speech: impacts on patient quality of life. *Psychol Res Behav Manag*. 2019;12:675–681. <https://doi.org/10.2147/PRBM.S212793>.
5. Kapila M, Deore N, Palav RS, Kazi RA, Shah RP, Jagade MV. A brief review of voice restoration following total laryngectomy. *Indian J Cancer*. 2011;48(1):99–104. <https://doi.org/10.4103/0019-509X.75841>.
6. Souza FGR, Santos IC, Bergmann A, Thuler LCS, Freitas AS, Freitas EQ. Quality of life after total laryngectomy: impact of different vocal rehabilitation methods in a middle income country. *Health Qual Life Outcomes*. 2020;18(1):92. <https://doi.org/10.1186/s12955-020-1281-z>.
7. Дайхес НА, Виноградов ВВ, Решульский СС, Исаева МЛ. Возможности восстановления голосовой функции и пути оптимизации выбора способа голосовой реабилитации у пациентов после ларингэктомии. *Вестник оториноларингологии*. 2023;88(3):108–109. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/xmbcoi>. Daikhes NA, Vinogradov VV, Reshul'skii SS, Isaeva ML. Voice restoration possibilities and ways to optimize the choice of voice rehabilitation method in laryngectomized patients. *Vestnik Oto-Rino-Laringologii*. 2023;88(3):108–109. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/xmbcoi>.
8. Crosetti E, Fantini M, Arrigoni G, Salonia L, Lombardo A, Atzori A et al. Telephonic voice intelligibility after laryngeal cancer treatment: is therapeutic approach significant? *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2017;274(1):337–346. <https://doi.org/10.1007/s00405-016-4217-9>.
9. Hilgers FJ, Akerstaf AH. Comprehensive rehabilitation after total laryngectomy is more than voice alone. *Folia Phoniatr Logop*. 2000;52(1-3):65–73. <https://doi.org/10.1159/000021514>.
10. Xiao X, Droppo J, Acero A. Information retrieval methods for automatic speech recognition. In: *2010 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*. Dallas, TX, USA; 2010, pp. 5550–5553. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2010.5495229>.
11. Корень ЕЕ, Степанова ЮЕ, Мохотаева МВ, Бахилин ВМ. Результаты акустического исследования голоса больных с функциональными и органическими дисфониями. *Российская оториноларингология*. 2013;(3):70–74. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-akusticheskogo-issledovaniya-golosa-bolnyh-s-funktsionalnymi-i-organicheskimi-disfoniymi/viewer>. Koren EE, Stepanova YuE, Mokhotayeva MV, Bakhilin VM. The acoustic analysis results voice patients with organic and functional dysphonias. *Rossiiskaya Otorinolaringologiya*. 2013;(3):70–74. (In Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-akusticheskogo-issledovaniya-golosa-bolnyh-s-funktsionalnymi-i-organicheskimi-disfoniymi/viewer>.
12. Шевченко ТИ, Буряя ЕА, Галочкина ИЕ, Кузьмина МО, Сокорева ТВ, Федотова МВ. Методы анализа звучащей речи: новые измерения и результаты. Дубна: Феникс+; 2017. 248 с.
13. Focht KL, Martin-Harris B, Bonilcha HS. Stroboscopic parameters reported as voice outcome measures in patients treated for laryngeal cancer: a systematic review. *J Med Speech Lang Pathol*. 2013;21(3):5. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25339842>.
14. Dejonckere PH, Bradley P, Clemente P, Cornut G, Crevier-Buchman L, Friedrich G et al. A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for investigating the efficacy of (phonosurgical) treatments and evaluating new assessment techniques. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2001;258(2):77–82. <https://doi.org/10.1007/s004050000299>.
15. Jiang J, Zhang Y, McGilligan C. From Modeling to Measurement Chaos in Voice. *J Voice*. 2006;20(1):2–17. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2005.01.001>.
16. Sprecher A, Olszewski A, Jiang JJ, Zhang Y. Updating signal typing in voice: addition of type 4 signals. *J Acoust Soc Am*. 2010;127(6):3710–3716. <https://doi.org/10.1121/1.3397477>.
17. Kostuchenko E, Novokhrestova D, Pekarskikh S, Shelupanov A, Nemirovich-Danchenko M, Choyznzonov E, Balatskaya L. Assessment of Syllable Intelligibility Based on Convolutional Neural Networks for Speech Rehabilitation After Speech Organs Surgical Interventions. In: Salah A, Karpov A, Potapova R (eds.). *Speech and Computer. SPECOM 2019. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 11658. Cham: Springer; 2019, pp. 359–369. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26061-3_37.
18. Ткаченко ГА, Подвязников СО, Мудунов АМ, Гусакова ЕВ. Психологическая помощь пациентам после ларингэктомии. *Опухоли головы и шеи*. 2020;10(1):101–106. <https://doi.org/10.17650/2222-1468-2020-10-1-101-106>. Tkachenko GA, Podvyaznikov SO, Mudunov AM, Gusakova EV. Psychological assistance to patients after laryngectomy. *Opuholi Golovy i Shi*. 2020;10(1):101–106. (In Russ.) <https://doi.org/10.17650/2222-1468-2020-10-1-101-106>.
19. Lorenz KJ. Rehabilitation after total laryngectomy – A tribute to the pioneers of voice restoration in the last two centuries. *Front Med*. 2017;4:81. <https://doi.org/10.3389/fmed.2017.00081>.
20. Дайхес НА, Осипенко ЕВ, Орлова ОС, Исаева МЛ, Котельникова НМ, Михалевская ИА, Кривых ЮС. Методы формирования устной речи у ларингэктомированных пациентов (обзор литературы).

- Оториноларингология. Восточная Европа.* 2021;11(3):334–347. <https://doi.org/10.34883/Pl.2021.11.3.022>.
- Daikhes NA, Osipenko EV, Orlova OS, Isaeva ML, Kotelnikova NM, Mikhalevskaya IA, Krivyykh YuS. Methods of formation of oral speech in laryngectomized patients (literature review) *Otorhinolaryngology. Eastern Europe.* 2021;11(3):334–347. (In Russ.) <https://doi.org/10.34883/Pl.2021.11.3.022>.
21. Новохрестова ДИ, Костюченко ЕЮ, Балацкая ЛН, Чойнзонов ЕЛ. *Методы и модель оценки качества произношения слогов при речевой реабилитации.* М.: НИЦ МИСИ; 2019. 69 с.
 22. Singer S, Wollbrück D, Dietz A, Schock J, Pabst F, Vogel H-J. Speech rehabilitation during the first year after total laryngectomy. *Head Neck.* 2013;35(11):1583–1590. <https://doi.org/10.1002/hed.23183>.
 23. Балацкая ЛН, Красавина ЕА, Мещеряков РВ, Чижевская СЮ, Чойнзонов ЕЛ. Акустический анализ на этапах комбинированного лечения и голосовой реабилитации у больных раком гортани и гортаноглотки. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение.* 2023;25(1):17–24. Режим доступа: <http://radiotec.ru/ru/journal/Neurocomputers/number/2023-1/article/23266>.
 24. Balatskaya LN, Krasavina EA, Mescheryakov RV, Chizhevskaya SYu, Choinzonov EL. Acoustic analysis at stages of combined treatment and vocal rehabilitation at sick of cancer of throat and drink throat. *Neurocomputers.* 2023;25(1):17–24. (In Russ.) Available at: <http://radiotec.ru/ru/journal/Neurocomputers/number/2023-1/article/23266>.
 25. Дайхес НА, Виноградов ВВ, Решульский СС, Исаева МЛ, Красавина ЕА, Федорова ЕБ и др. Оценка коммуникативного статуса пациентов после ларингэктомии. *Оториноларингология. Восточная Европа.* 2024;14(2):176–191. <https://doi.org/10.34883/Pl.2024.14.2.030>.
 26. Дайхес НА, Виноградов ВВ, Решульский СС, Федорова ЕБ, Исаева МЛ. Сравнительная характеристика методик формирования глоточно-пищеводного анастомоза и бесканальной трахеостомии у ларингэктомированных пациентов. *Российская оториноларингология.* 2023;22(1):18–23. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2023-1-18-23>.
 27. Longobardi Y, Savoia V, Bussu F, Morra L, Mari G, Nesci DA et al. Integrated rehabilitation after total laryngectomy: a pilot trial study. *Support Care Cancer.* 2019;27(9):3537–3544. <https://doi.org/10.1007/s00520-019-4647-1>.
 28. Bickford JM, Coveney J, Baker J, Hersh D. Support following total laryngectomy: Exploring the concept from different perspectives. *Eur J Cancer Care.* 2018;27(3):e12848 <https://doi.org/10.1111/ecc.12848>.
 29. Bua BA, Pendleton H, Westinb U, Rydelc R. Voice and swallowing after total laryngectomy. *Acta Otolaryngol.* 2018;138(2):170–174. <https://doi.org/10.1080/00016489.2017.1384056>.

Вклад авторов:

Концепция и дизайн исследования – Н.А. Дайхес, Т.И. Гаращенко

Написание текста – М.Л. Исаева, Е.Б. Федорова, К.В. Мищенко, Р.Р. Хабиев, С.М. Кочиева

Сбор и обработка материала – М.Л. Исаева, Е.Б. Федорова, К.В. Мищенко, Р.Р. Хабиев, С.М. Кочиева

Обзор литературы – М.Л. Исаева, Е.Б. Федорова, К.В. Мищенко, Р.Р. Хабиев, С.М. Кочиева

Анализ материала – В.В. Виноградов, С.С. Решульский, В.Ф. Прикулс

Статистическая обработка – М.Л. Исаева, Е.Б. Федорова, К.В. Мищенко, Р.Р. Хабиев, С.М. Кочиева

Редактирование – В.В. Виноградов, С.С. Решульский, В.Ф. Прикулс

Утверждение окончательного варианта статьи – Н.А. Дайхес, Т.И. Гаращенко

Contribution of authors:

Study concept and design – Nikolai A. Daikhes, Tatiana I. Garashchenko

Text development – Maria L. Isaeva, Elena B. Fedorova, Konstantin V. Mishchenko, Ruslan R. Khabiev, Sabina M. Kochiyeva

Collection and processing of material – Maria L. Isaeva, Elena B. Fedorova, Konstantin V. Mishchenko, Ruslan R. Khabiev, Sabina M. Kochiyeva

Literature review – Maria L. Isaeva, Elena B. Fedorova, Konstantin V. Mishchenko, Ruslan R. Khabiev, Sabina M. Kochiyeva

Material analysis – Viacheslav V. Vinogradov, Sergei S. Reshulskii, Vladislav F. Prikuls

Statistical processing – Maria L. Isaeva, Elena B. Fedorova, Konstantin V. Mishchenko, Ruslan R. Khabiev, Sabina M. Kochiyeva

Editing – Viacheslav V. Vinogradov, Sergei S. Reshulskii, Vladislav F. Prikuls

Approval of the final version of the article – Nikolai A. Daikhes, Tatiana I. Garashchenko

Информация об авторах:

Дайхес Николай Аркадьевич, чл.- корр. РАН, д.м.н., профессор, директор, Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства; 123182, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, корп. 2; заведующий кафедрой оториноларингологии факультета дополнительного профессионального образования Института научной и практической отоларингологии, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, д. 1; <https://orcid.org/0000-0001-5636-5082>; admin@otolar.ru

Виноградов Вячеслав Вячеславович, д.м.н., доцент, руководитель научно-клинического отдела онкологии лор-органов, Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства; 123182, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, корп. 2; профессор кафедры оториноларингологии факультета дополнительного профессионального образования Института научной и практической отоларингологии, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, д. 1; <https://orcid.org/0000-0002-7808-5396>; onco@otolar-center.ru

Решульский Сергей Сергеевич, д.м.н., заведующий онкологическим отделением опухолей головы и шеи, Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства; 123182, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, корп. 2; доцент кафедры оториноларингологии факультета дополнительного профессионального образования Института научной и практической отоларингологии, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, д. 1; <https://orcid.org/0000-0001-8600-1343>; rss05@mail.ru

Гаращенко Татьяна Ильинична, д.м.н., профессор, Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства; 123182, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, корп. 2; профессор кафедры оториноларингологии факультета дополнительного профессионального образования Института научной и практической отоларингологии, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, д. 1; <https://orcid.org/0000-0002-5024-6135>; 9040100@mail.ru

Исаева Мария Леонидовна, к.м.н., старший научный сотрудник, Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства; 123182, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, корп. 2; <https://orcid.org/0000-0002-4764-9865>; kuzukina@mail.ru

Прикул Владислав Францевич, д.м.н., врач-физиотерапевт, Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства; 123182, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, корп. 2; заведующий кафедрой медицинской реабилитации и физиотерапии, Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского; 129110, Россия, Москва, ул. Щепкина, д. 61/2; <https://orcid.org/0000-0003-3489-7760>; vlad_doc@list.ru

Федорова Елена Борисовна, к.м.н., старший научный сотрудник, Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства; 123182, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, корп. 2; <https://orcid.org/0000-0001-5078-8594>; elena.fe12@yandex.ru

Мищенко Константин Владимирович, младший научный сотрудник, Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства; 123182, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, корп. 2; <https://orcid.org/0009-0000-5826-6512>; mishchenko.ent@mail.ru

Хабиев Руслан Ринатович, врач-оториноларинголог, Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства; 123182, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, корп. 2; <https://orcid.org/0009-0003-2910-3476>; ruslan.khabiev@gmail.com

Кочиева Сабина Махарбеговна, аспирант, Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства; 123182, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30, корп. 2; <https://orcid.org/0009-0006-0936-6326>; kochiyeva_sabina@mail.ru

Information about the authors:

Nikolai A. Daikhes, Corr. Member RAS, Dr. Sci. (Med.), Professor, Director, National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency of Russia; 30, Bldg. 2, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 123182, Russia; Head of the Department of Otorhinolaryngology at the Faculty of Additional Professional Education of the Institute of Scientific and Practical Otolaryngology, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-5636-5082>; admin@otolar.ru

Viacheslav V. Vinogradov, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Scientific and Clinical Department of ENT Oncology, National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency of Russia; 30, Bldg. 2, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 123182, Russia; Professor of Otorhinolaryngology Department at the Faculty of Additional Professional Education of the Institute of Scientific and Practical Otolaryngology, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-7808-5396>; onco@otolar-center.ru

Sergei S. Reshulskii, Dr. Sci. (Med.), Head of the Oncological Department of Head and Neck Tumors, National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency of Russia; 30, Bldg. 2, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 123182, Russia Associate Professor of Otorhinolaryngology Department at the Faculty of Additional Professional Education of the Institute of Scientific and Practical Otolaryngology, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-8600-1343>; rss05@mail.ru

Tatiana I. Garashchenko, Dr. Sci. (Med.), Professor, National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency of Russia; 30, Bldg. 2, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 123182, Russia; Professor of Otorhinolaryngology Department at the Faculty of Additional Professional Education of the Institute of Scientific and Practical Otolaryngology, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-5024-6135>; 9040100@mail.ru

Maria L. Isaeva, Cand. Sci. (Med.), Senior Research Associate, National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency of Russia; 30, Bldg. 2, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 123182, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-4764-9865>; kuzukina@mail.ru

Vladislav F. Prikuls, Dr. Sci. (Med.), Physiotherapist, National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency of Russia; 30, Bldg. 2, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 123182, Russia; Head of Medical Rehabilitation and Physiotherapy Department, Faculty of Advanced Medical Studies, Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirovsky; 61/2, Bldg. 1, Schepkin St., Moscow, 129110, Russia <https://orcid.org/0000-0003-3489-7760>; vlad_doc@list.ru

Elena B. Fedorova, Cand. Sci. (Med.), Senior Research Associate, National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency of Russia; 30, Bldg. 2, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 123182, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-5078-8594>; elena.fe12@yandex.ru

Konstantin V. Mishchenko, Junior Research Associate, National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency of Russia; 30, Bldg. 2, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 123182, Russia; <https://orcid.org/0009-0000-5826-6512>; mishchenko.ent@mail.ru

Ruslan R. Khabiev, Otorhinolaryngologist, National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency of Russia; 30, Bldg. 2, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 123182, Russia; <https://orcid.org/0009-0003-2910-3476>; ruslan.khabiev@gmail.com

Sabina M. Kochiyeva, Postgraduate Student, National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency of Russia; 30, Bldg. 2, Volokolamskoe Shosse, Moscow, 123182, Russia; <https://orcid.org/0009-0006-0936-6326>; kochiyeva_sabina@mail.ru