

<https://doi.org/10.34883/PI.2023.13.2.033>



Криштопова М.А.¹ ✉, Ивашнёва Э.Е.², Казаков В.Е.², Мартова Е.А.³, Петрова Л.Г.⁴

¹ Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет, Витебск, Беларусь

² Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь

³ Витебский областной детский клинический центр, Витебск, Беларусь

⁴ Белорусская медицинская академия последипломного образования, Минск, Беларусь

Анализ состояния голосового аппарата у здоровых лиц и пациентов с функциональной дисфонией с помощью разработанного мобильного приложения

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Криштопова М.А. – концепция и дизайн исследования; Ивашнёва Э.Е., Казаков В.Е. – разработка мобильного приложения; Мартова Е.А. – обзор литературы; Петрова Л.Г. – обзор литературы, редактирование.

Подана: 29.04.2023

Принята: 22.05.2023

Контакты: m.a.krishtopova@gmail.com

Резюме

Цель. Повысить эффективность диагностики пациентов с заболеваниями голосового аппарата путем разработки мобильного приложения «Контроль здоровья голоса» для врача и пациентов для анализа функционального состояния голосового аппарата.

Материалы и методы. В исследовании участвовало 90 добровольцев (средний возраст $44,2 \pm 13,9$ года), из них 45 здоровых лиц (средний возраст $36,7 \pm 13,3$ года) и 45 пациентов с нарушением голоса (средний возраст $47 \pm 13,1$ года). Голос испытуемых был записан в тихой комнате, где уровень шума не превышал 50 дБ. Оценка приложения «Контроль здоровья голоса» проводилась для изучения чувствительности и специфичности. Результаты исследования сравнивались с результатами Praat – одного из наиболее часто используемых инструментов оценки голоса в клинической практике. Качество голоса разработанным мобильным приложением «Контроль здоровья голоса» оценивалось математически при помощи следующей формулы: $DSI = 0,13 \times MPT + 0,053 \times F(0)\text{-High} - 0,26 \times I\text{-Low} - 1,18 \times \text{Jitter} (\%) + 12,4$, где MPT – время максимальной фонации, F(0)-High – самая высокая частота основного тона, I-Low – самая низкая интенсивность (обозначается как I-Low), Jitter – дрожание. Чтобы продемонстрировать, что результаты теста не меняются для разных устройств и версий Android, мы протестировали одного испытуемого с четырьмя разными устройствами: Samsung S4 (версия Android 5.0.1), Huawei Mate 10 Lite (версия Android 7.0.0), Asus Zenfone 3 (версия Android 8.0.0) и One Plus One (версия Android 8.0.0).

Результаты. Результат оценки голоса приложением «Контроль здоровья голоса» был положителен у 45 из 45 пациентов из исследуемой группы и, следовательно, имеет чувствительность 0,1 (также значение выражается как 100%). Результат оценки голоса приложением «Контроль здоровья голоса» был отрицателен у 44 из 45 исследуемых контрольной группы, где отсутствовали жалобы на изменения голоса, и, следовательно, имеет специфичность 0,9 (или 90%). Приложение «Контроль здоровья

голоса» позволяет получить одинаковый итоговый индекс выраженности дисфонии при повторной записи голоса – численные значения акустических параметров совпадали на 82%. Числовые акустические значения и итоговый индекс, рассчитанные разными устройствами, были похожи, случаев несоответствия не наблюдалось. Результаты оценки голоса с помощью приложения «Контроль здоровья голоса» сравнивали с результатами, полученными с помощью Praat, показатели точности составляли около 77%.

Заключение. Приложение «Контроль здоровья голоса» является эффективным для выявления лиц, которым следует пройти дальнейшую диагностику для определения характера нарушения голоса; рекомендует обратиться к врачу-оториноларингологу максимально рано при первых признаках изменения голоса; позволяет выполнять самостоятельный скрининг здоровых лиц и лиц, входящих в группу риска, поскольку многие нарушения голоса могут быть успешно вылечены при раннем обнаружении. Приложение «Контроль здоровья голоса» оценивает DSI, который является наиболее комплексным для выявления изменений голоса и по этой причине используется в клинической практике.

Ключевые слова: голос, дисфония, DSI, скрининг, мобильное приложение

Kryshchtopava M.¹ ✉, Ivashneva E.², Kazakou V.², Martava H.³, Petrova L.⁴

¹ Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, Vitebsk, Belarus

² Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Belarus

³ Vitebsk Regional Children's Clinical Center, Vitebsk, Belarus

⁴ Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education, Minsk, Belarus

Analysis of the Vocal Box State in Healthy Individuals and Patients with Functional Dysphonia Using the Developed Mobile Application

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Kryshchtopava M. – study concept and design; Ivashneva E., Kazakou V. – mobile application development; Martava H. – literature review; Petrova L. – editing.

Submitted: 29.04.2023

Accepted: 22.05.2023

Contacts: m.a.kryshchtopova@gmail.com

Abstract

Purpose. To improve the efficiency of diagnosing patients with voice disorders by developing a mobile application that should be helpful in voice quality monitoring.

Materials and methods. Voices of 45 healthy subjects (mean age 36.7±13.3 years) and 45 dysphonic patients (mean age 47±13.1 years) were recorded in a quiet room with environment noise below 50 dB. The evaluation of VoiceControl app was made in terms of recognizing healthy or pathological voices. To demonstrate that the test results were not changed for different Android devices and versions, we tested one subject with four different devices: Samsung S4 (Android version 5.0.1), Huawei Mate 10 Lite (Android version 7.0.0), Asus Zenfone 3 (Android version 8.0.0) and One Plus One (Android version

8.0.0). The results of voice assessment using the app were compared with the results obtained using Praat.

Results. The VoiceControl application allows getting the identical final index of dysphonia severity in repeated voice recordings. The values of the acoustic parameters were identical in 82%. The numerical acoustic values and the final index calculated by the devices were similar, no discrepancies were observed. App voice assessment was just as effective as Praat, particularly in analysing the main acoustic measures. Accuracy rates were about 77%.

Conclusion. The developed application is effective; it allows saving the history of tests helping a subject to control the improvement/worsening of dysphonia symptoms. The developed application can be used as a screening test, but does not allow making a diagnosis. The application may recommend a consultation with a specialist for an accurate assessment of voice impairment. Additional examinations, such as laryngoscopy, are necessary to make the correct diagnosis. Moreover, VoiceControl app evaluates the fundamental frequency, highest frequency, lowest intensity, maximum phonation time, and jitter that are the most comprehensive parameters for detecting voice changes and is useful in clinical practice.

Keywords: normal voice, dysphonia, DSI, screening test, mobile application

■ ВВЕДЕНИЕ

Нарушение голоса является как самостоятельным заболеванием, так и признаком различных заболеваний гортани, в том числе одним из первых признаков рака гортани. Диагностика нарушений голоса является особенно важной для ранней диагностики как органических, так и функциональных заболеваний гортани. Изучению нестабильности голоса по частоте в литературе уделяется особое внимание. Эта характеристика голоса оценивается такими параметрами, как Jitter, Pitch Period Perturbation Quotient и Relative Average Perturbation Quotient [1]. Данные показатели не имеют эквивалентов на русском языке и в литературе упоминаются только по-английски. Наибольшей популярностью среди них пользуется Jitter. Jitter представляет собой относительную оценку изменений высоты колебаний голосовых складок от периода к периоду в пределах анализируемого образца. Jitter присутствует в любом голосе, но имеет тенденцию к увеличению при появлении и нарастании охриплости. Причем величина Jitter зависит от многих факторов: состояния слизистой оболочки голосовых складок, структурных изменений вокальной мышцы, нарушения аэродинамических процессов гортани. Dysphonia Severity Index (DSI), или индекс выраженности дисфонии, считается объективным показателем комплексной оценки акустических параметров голоса [2]. Качество голоса может быть оценено математически при помощи следующей формулы:

$$DSI = 0,13 \times MPT + 0,053 \times F(0)\text{-High} - 0,26 \times I\text{-Low} - 1,18 \times \text{Jitter} (\%) + 12,4,$$

где MPT – время максимальной фонации;

F(0)-High – максимальная частота голоса;

I-Low – минимальная сила голоса.

Диагностика нарушений голоса может стать доступной большому кругу пользователей мобильных устройств благодаря специализированным программам предварительной диагностики.

На данный момент существует несколько мобильных приложений, предоставляющих подобный интерфейс, например, приложение VoiceScreen (Lithuanian University of Health Sciences, Kaunas, Lithuania) [3]. Приложение VoiceScreen требует от пользователя выполнения двух простых задач: 1) протяжно произносить звук [a:] в течение 4 секунд; 2) произнесение предложенного предложения. Приложение представлено на 11 языках. Голос пользователей записывается, а затем анализируется с извлечением шести акустических параметров голоса, которые потом анализируются, чтобы предоставить пользователю индекс акустического качества голоса (AVQI) [4]. Значение AVQI имеет доказанную диагностическую точность. Значения AVQI не зависят от пола и возраста. Приложение VoiceScreen вычисляет и отображает значение AVQI, а также предоставляет пользователю рекомендации на основе результатов теста. Предоставленные рекомендации следует воспринимать как руководство к дальнейшему действию. Приложение помогает выявлять лиц, которым следует пройти дальнейшие диагностические процедуры для определения характера нарушения голоса, позволяет обратиться к врачу-оториноларингологу максимально рано, выполнять самостоятельный скрининг здоровых лиц и лиц, входящих в группу риска, поскольку многие нарушения голоса могут быть успешно вылечены при раннем обнаружении.

Оценка диагностической точности AVQI и DSI показала высокую чувствительность и специфичность при определении качественных характеристик голоса. Однако DSI может иметь более высокий потенциал при оценке типа дисфонии.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Повышение эффективности диагностики пациентов с заболеваниями голосового аппарата путем разработки мобильного приложения «Контроль здоровья голоса» для врача и пациентов для анализа функционального состояния голосового аппарата.

Для реализации данной цели были проанализированы и выбраны инструменты разработки приложения; разработано мобильное приложение для анализа состояния голосового аппарата; проведено функциональное и клиническое тестирование приложения.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проспективное наблюдательное исследование было выполнено по протоколу открытого неконтролируемого нерандомизированного испытания. Процедура рандомизации – не предусмотрена. Исследование одобрено этическим комитетом ВГМУ. Исследование было проведено на базе оториноларингологического (гнойного) отделения УЗ «ВГКБСМП», договор о сотрудничестве между УЗ «ВГКБСМП» и ВГМУ № 19А от 31 августа 2020 г. В исследование были включены пациенты с нарушением голоса (R49), госпитализированные на лечение в оториноларингологическое (гнойное) отделение УЗ «ВГКБСМП». В исследовании участвовало 90 добровольцев, 68 женщин и 22 мужчины (средний возраст $44,2 \pm 13,9$ года), из них 45 здоровых лиц (средний возраст $36,7 \pm 13,3$ года) и 45 пациентов с нарушением голоса (средний возраст $47 \pm 13,1$ года). Критериями включения в исследование были: дисфония; пол – мужской и

женский; возраст – от 18 до 65 лет; отсутствие каких-либо жалоб на состояние здоровья, острых или хронических заболеваний, что подтверждалось регулярными комплексными профилактическими медицинскими осмотрами; добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Критериями исключения были: отказ от участия в исследовании; наличие жалоб на состояние здоровья; острые или хронические заболевания; периодический или постоянный прием каких-либо лекарственных средств; злоупотребление алкогольными напитками; курение.

Основной жалобой у всех пациентов было изменение голоса разной степени выраженности (ослабление, охриплость, утомляемость, отсутствие голоса).

Проводилась оценка эффективности приложения «Контроль здоровья голоса»: изучались чувствительность и специфичность. Результаты исследования сравнивались с результатами Praat – одного из наиболее часто используемых инструментов оценки голоса в клинической практике. Качество голоса разработанным мобильным приложением «Контроль здоровья голоса» оценивалось математически при помощи следующей формулы: $DSI = 0,13 \times MPT + 0,053 \times F(0)\text{-High} - 0,26 \times I\text{-Low} - 1,18 \times \text{Jitter} (\%) + 12,4$, где MPT – время максимальной фонации, F(0)-High – самая высокая частота основного тона (ЧОТ), I-Low – самая низкая интенсивность (обозначается как I-Low), Jitter – степень частотной нестабильности основного тона. Индекс тяжести дисфонии для нормального голоса равен от +1,6 до +5, а для дисфонии – от +1,5 до –5 (чем тяжелее дисфония, тем ниже значение индекса) [2].

Чтобы продемонстрировать, что результаты теста не меняются для разных устройств и версий Android, мы протестировали одного испытуемого с четырьмя разными устройствами: Samsung S4 (версия Android 5.0.1), Huawei Mate 10 Lite (версия Android 7.0.0), Asus Zenfone 3 (версия Android 8.0.0) и One Plus One (версия Android 8.0.0).

Взаимодействие пациента и врача посредством приложения происходит следующим образом (рис. 1). На диаграмме в рассматриваемой области присутствует пациент и врач. Пациент, загрузив приложение на свой смартфон, проходит ряд тестов, которые сохраняются в его локальной истории измерений. Там же он может предоставить доступ врачу к истории своих измерений. По результатам измерений пациент может просмотреть график, на котором отображены улучшения/ухудшения состояния голоса. Врач может просматривать открытые для просмотра отчеты измерений пациентов, а также на личном приеме создать на своем смартфоне профиль пациента и проводить тестирования его голосового аппарата (в таком случае предоставлять доступ врачу не требуется). В настройках есть возможность зарегистрировать свой аккаунт, чтобы сохранять историю измерений в облаке.

На главном экране испытуемому предоставляется возможность перейти к прочтению описания приложения, в котором предоставляются показатели для расчета индекса тяжести дисфонии, рекомендации по выбору места проведения тестов, краткое описание проблемы (дисфония); пройти анкетирование с помощью опросников VHI-30(рус) или VHI-10(рус); перейти к выполнению тестов или истории измерений (рис. 2).

Экран тестирования состоял из 4 задач, которые включали краткое описание предстоящих тестов и отчета, содержащего результаты теста. Голос испытуемых был записан в тихой комнате, где уровень шума не превышал 50 дБ. Когда тестирование проводилось, телефон клали на поверхность на расстоянии 30 см от рта.

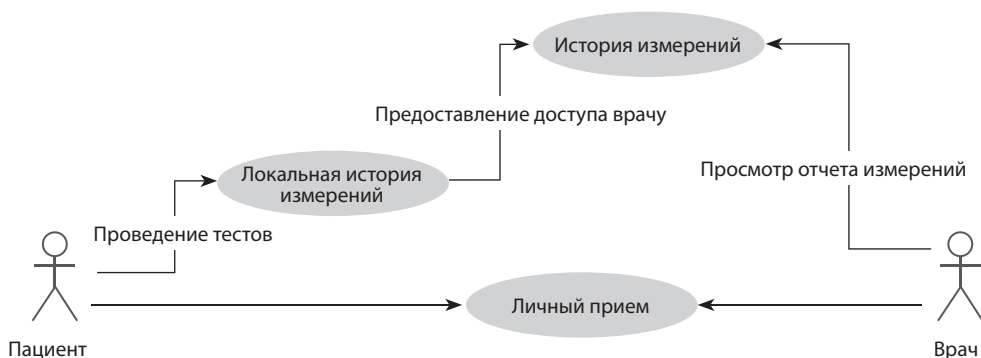


Рис. 1. Диаграмма взаимодействия пациента и врача посредством приложения
Fig. 1. Diagram of patient-physician interaction through the app



Рис. 2. Главный экран приложения
Fig. 2. Main screen of the application

При готовности проходить тесты пользователю нужно нажать на кнопку «старт». Приложение требует от пользователя выполнения нескольких простых задач: протяжно произносить звук [а:] в течение 4 секунд, максимально продолжительно произносить звук [а:] на одном выдохе, произносить звук [а:] до максимальной высоты (частоты) тона, произносить звук [а:] на минимальной интенсивности (максимально тихо). Голос исследуемых записывался, а затем анализировалась совокупность показателей акустических параметров голоса: время максимальной фонации (ВМФ), самая высокая частота основного тона (обозначается как F(0)-High), самая низкая интенсивность (обозначается как I-Low) и jitter, чтобы предоставить индекс тяжести дисфонии (DSI) голоса. После вычисления и отображения значения DSI предоставляются рекомендации на основе результатов теста (табл. 1). Предоставленные рекомендации следует воспринимать как руководство к дальнейшему действию по улучшению голоса. Чтобы дополнительно проанализировать голос, можно проверить

Таблица 1
Интерпретация индекса дисфонии
Table 1
Interpretation of the dysphonia index

Индекс дисфонии	Интерпретация	Рекомендации
+3 до +5	Ваш голос в норме	Повторите тест при появлении новых симптомов изменения голоса
+1,6 до +3	Незначительные изменения в голосе	Повторите тест через неделю, если вы страдаете острым респираторным заболеванием менее двух недель. Обратитесь к врачу, если вы специалист по вокалу (певец, актер, педагог и т. д.). Обратитесь к врачу, если вы чувствуете изменения голоса более двух недель, курите и/или работаете во вредной среде (дым/химикаты)
Менее +1,6	Существенные отклонения в голосе, которые могут быть вызваны серьезным и опасным заболеванием гортани!	Необходимо посетить отоларинголога (лора)

предыдущую историю записей DSI и отслеживать изменения голоса или поделиться результатами с врачом. После нажатия на кнопку «закончить измерения и сохранить в историю» законченный отчет сохраняется в историю.

На любом этапе испытания исследуемые могли отказаться от дальнейшего участия в исследовании. Вся информация о пациентах, занесенная в индивидуальную карту испытуемого, являлась конфиденциальной.

Статистическая обработка и анализ данных исследования проводились методами описательной и непараметрической статистики. Полученные в ходе исследования результаты использовались для создания баз данных с применением программы Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, США). Анализ баз данных проводился с использованием пакетов прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США), MedCalc (MedCalc Software, Бельгия). Уровень значимости p принимался менее 0,05.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследование были включены 90 испытуемых, из них 45 пациентов с функциональной дисфонией и 45 человек контрольной группы. Исследование завершили все 90 исследуемых (рис. 3).

Итоговый индекс, полученный приложением «Контроль здоровья голоса», был положителен у 45 из 45 пациентов исследуемой группы и, следовательно, имеет чувствительность 0,1 (также значение выражается как 100%). Итоговый индекс, полученный приложением «Контроль здоровья голоса», был отрицателен у 5 из 45 исследуемых контрольной группы, где отсутствовали жалобы на изменения голоса, имеет специфичность 0,9 (или 90%). Приложение «Контроль здоровья голоса» позволяет получить одинаковый итоговый индекс выраженности дисфонии при повторной записи голоса – численные значения акустических параметров совпадали на 82% и составили у здоровых в среднем 8,1 и 7,8, в группе пациентов – 0,67 и 0,55. Числовые акустические значения и итоговый индекс, рассчитанные разными устройствами, были похожи, случаев несоответствия не наблюдалось: например, при измерении



Рис. 3. Блок-схема включенных в исследование пациентов
Fig. 3. Block diagram of patients included in the study

Таблица 2
Средние значения DSI данных исследования пациентов и здоровых лиц, полученные с помощью приложения «Контроль здоровья голоса» и Praat-программой
Table 2
Mean of the DSI of healthy subjects and patients obtained by Praat and "VoiceControl" app.

Признаки	Praat-программа		Приложение «Контроль здоровья голоса»	
	Среднее значение		Среднее значение	
	Здоровые (n=45)	Пациенты (n=45)	Здоровые	Пациенты
ВМФ, сек.	17,67	10	13,61	7,7
F(0)-High, дБ	1139,89	388	797,9	298,76
I-Low, Hz	49,26	63	37,9	48,51
Jitter, %	0,26	0,33	0,2	0,25
DSI	6,78	0,87	5,22	0,67

Примечание: P<0,05.

устройством Samsung S4 (версия Android 5.0.1) индекс был 1,3, а при измерении устройством Huawei Mate 10 Lite (версия Android 7.0.0) – 1,5. В табл. 2 представлены средние значения DSI данных исследования пациентов и здоровых лиц, полученные с помощью приложения «Контроль здоровья голоса» и Praat.

■ ВЫВОДЫ

1. Приложение «Контроль здоровья голоса» является эффективным инструментом для оценки состояния голоса, так как имеет чувствительность 0,1 (100%) и специфичность 0,9 (90%), следовательно, является дополнительным инструментом для выявления лиц, которым следует пройти дальнейшее обследование

для диагностики характера нарушения голоса; позволяет обратиться к врачу-оториноларингологу максимально рано, выполнять самостоятельный скрининг здоровых лиц и лиц, входящих в группу риска, поскольку многие нарушения голоса могут быть успешно вылечены при раннем обнаружении.

2. Приложение «Контроль здоровья голоса» оценивает DSI, точность которого составляет около 77% при сравнении с Praat-программой.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Niebudek-Bogusz E., Kotylo P., Sliwinska-Kowalska M. Evaluation of voice acoustic parameters related to vocal-loading test in professionally active teachers with dysphonia. *International journal of occupational medicine and environmental health*. 2007;20(1):25.
2. Wuyts F.L. The dysphonia severity index: an objective measure of vocal quality based on a multiparameter approach. *Journal of speech, language, and hearing research*. 2000;43(3):796–809.
3. Uloza V., Ulozaite-Staniene N., Petrauskas T. An iOS-based VoiceScreen application: feasibility for use in clinical settings – a pilot study. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. 2023;280(1):277–284.
4. Maryn Y., De Bodt M., Roy N. The Acoustic Voice Quality Index: toward improved treatment outcomes assessment in voice disorders. *Journal of communication disorders*. 2010;43(3):161–174.