

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья

УДК 616.12/.14-073.43:004.852

<https://doi.org/10.17021/1992-6499-2025-4-58-66>

3.1.18. Внутренние болезни (медицинские науки)

3.1.29. Пульмонология (медицинские науки)

**ЦИФРОВОЙ ТРЕНАЖЁР АУСКУЛЬТАЦИИ
С ПОДДЕРЖКОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ
ДЛЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА: АПРОБАЦИЯ**

Сергей Иванович Глотов, Олег Михайлович Урясьев,

Эдуард Сергеевич Бельских

Рязанский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова, Рязань, Россия

Аннотация. Несмотря на интенсивное внедрение высокотехнологичных методов диагностики, обучение традиционному навыку аускультации сердца сохраняет фундаментальное значение в подготовке медицинских специалистов, что создает предпосылки для разработки и внедрения инновационных цифровых симуляторов с интеграцией нейросетевых технологий для повышения эффективности образовательного процесса. **Цель:** провести апробацию разработанного цифрового тренажёра аускультации в реальной учебной среде, оценить его практическую полезность и определить направления дальнейшего совершенствования. **Материалы и методы.** Тренажёр использует реальные аудиозаписи нормальных и патологических дыхательных и сердечных звуков, систематизированных по клиническим классификациям. Реализованы два режима: учебный с многократным прослушиванием и краткими пояснениями и тестовый с заданиями множественного выбора и автоматическим подсчётом баллов. В исследование были включены 20 врачей и 109 студентов 4–6 курсов, при этом у 38 студентов выполнено повторное тестирование через одну неделю. Основной исход – суммарный балл распознавания дыхательных и сердечных шумов. Применялись непараметрические методы при уровне значимости $p < 0,05$. **Результаты.** Межгрупповых различий между врачами и студентами не выявлено ни при распознавании дыхательных шумов ($p = 0,526$), ни сердечных шумов ($p = 0,822$). В подгруппе повторного тестирования у студентов по дыхательным шумам статистически значимой динамики не отмечено, медиана изменилась с 6[6;7] до 7[5;8,75] при $p = 0,729$, тогда как по сердечным шумам зафиксировано увеличение количества распознаваемых аускультативных феноменов с 2[2;2] до 3[3;4] при $p = 0,002$, подтверждая обучающую эффективность тренажёра. В целом, врачи и студенты лучше распознавали шумы, связанные с заболеваниями легких, чем сердца. Пользователи отметили простоту запуска и освоения. **Заключение.** Цифровой тренажёр аускультации пригоден для включения в учебный процесс, не требует дорогого оборудования и обеспечивает краткосрочное улучшение распознавания сердечных шумов у студентов, выступая доступным дополнением к традиционному обучению. Ограничения исследования, включая одно учреждение, небольшой объём выборки и короткий интервал повторной оценки, обуславливают необходимость подтверждения результатов в более масштабных и рандомизированных исследованиях; дальнейшее развитие связано с расширением библиотеки звуков и совершенствованием алгоритмов оценки.

Ключевые слова: аускультация, легочные звуки, сердечные шумы, медицинское образование, симулятор, Python, тренировка

Для цитирования: Глотов С. И., Урясьев О. М., Бельских Э. С. Цифровой тренажёр аускультации с поддержкой нейросетевой языковой модели для учебного процесса: апробация // Астраханский медицинский журнал. 2025. Т. 20, № 4. С. 58–66. <https://doi.org/10.17021/1992-6499-2025-4-58-66>.

DIGITAL AUSCULTATION SIMULATOR WITH NEURAL NETWORK LANGUAGE MODEL SUPPORT FOR THE EDUCATIONAL PROCESS: APPROBATION

Sergey I. Glotov, Oleg M. Uryasyev, Eduard S. Belskikh

Ryazan State Medical University named after academician I. P. Pavlov, Ryazan, Russia

Abstract. Despite the intensive implementation of advanced diagnostic methodologies, training in the traditional skill of cardiac and pulmonary auscultation retains fundamental significance in the preparation of medical specialists, thereby stimulating the development and implementation of innovative digital simulation platforms integrated with neural network technologies to enhance the effectiveness of educational processes in medical training. **Objective.** To conduct an approbation of the developed digital auscultation simulator in a real academic setting, to evaluate its practical utility and to determine areas for further improvement. **Materials and Methods.** The simulator uses real audio recordings of normal and pathological respiratory and cardiac sounds, which are systematized according to clinical classifications. Two modes are implemented: a training mode with repeated listening and brief explanations, and a testing mode with multiple-choice questions and automatic scoring. The study included 20 physicians and 109 students in their 4th to 6th years, with 38 students undergoing repeated testing one week later. The primary outcome was the total score for recognizing respiratory and cardiac sounds. Non-parametric methods were used at a significance level of $p < 0.05$. **Results.** No significant intergroup differences were found between physicians and students in recognizing either respiratory sounds ($p = 0.526$) or cardiac sounds ($p = 0.822$). In the subgroup of students who were retested, no statistically significant dynamics were noted for respiratory sounds, with the median changing from 6[6;7] to 7[5;8.75] with $p = 0.729$. However, a significant improvement in cardiac sounds was recorded, with the median changing from 2[2;2] to 3[3;4] with $p = 0.002$, confirming the simulator's effectiveness. Overall, physicians and students were better at recognizing pulmonary sounds than cardiac sounds. Users noted the ease of starting and mastering the simulator. **Conclusion.** The digital auscultation simulator is suitable for inclusion in the educational process, does not require expensive equipment, and provides short-term improvement in cardiac sound recognition among students, serving as an accessible supplement to traditional training. The study's limitations, including a single institution, a small sample size, and a short re-evaluation interval, necessitate the confirmation of results in larger and more randomized studies; further development is related to expanding the sound library and improving the evaluation algorithms.

Key words: auscultation, lung sounds, heart murmurs, medical education, simulator, Python, training

For citations: Glotov S. I., Uryasyev O. M., Belskikh E. S. Digital auscultation simulator with neural network language model support for the educational for the educational process: Approbation. Astrakhan Medical Journal. 2025; 20 (4): 58–66. <https://doi.org/10.17021/1992-6499-2025-4-58-66> (In Russ.).

Введение. Несмотря на интенсивное внедрение в современную медицину высокотехнологических методов диагностики, аускультация остается ценным неинвазивным методом исследования. Она входит в стандарты для оценки состояния кардиологического и пульмонологического статуса пациента, остаётся одним из самых традиционных и широко используемых в клинической практике методов диагностики [1].

Тем не менее стетоскоп, используемый для аускультации с 1816 г., имеет ряд недостатков. Среди ключевых недостатков подчеркивают отсутствие способности этого стандартного механического инструмента хранить и воспроизводить звуки, предоставлять визуальные данные о звуковых феноменах, а также невозможность улучшения звукового сигнала. Эти недостатки делают аускультацию менее эффективным в современных условиях, где требуется более точное и детализированное исследование [2].

Значимый прогресс в области аускультации связан с развитием электронной аускультации, важность и перспективы которой подчеркнуты в классических и современных обзорах. Электронные методы позволяют регистрировать, измерять и анализировать частотные диапазоны, плохо различимые при традиционном выслушивании, а также использовать визуализацию и алгоритмы автоматизированного распознавания, что открывает новые возможности для диагностики и мониторинга течения заболеваний и эффективности терапии [3, 4].

Аускультация органов дыхания сохраняет фундаментальное значение в клинической практике, поскольку позволяет выявлять патологию на ранних этапах, ориентируясь на характер дыхательных шумов, их локализацию, длительность и тональные особенности. При этом показано, что обучающиеся и молодые специалисты часто испытывают затруднения при распознавании тонких различий между сухими и влажными хрипами, свистами, крепитацией и другими феноменами, что подтверждается сравнительными исследованиями точности распознавания звуков у разных групп врачей и студентов [5].

Современная система практической подготовки сталкивается с ограничениями традиционного обучения у постели больного, в том числе с организационными трудностями при занятиях в больших группах, изменчивостью клинических случаев и ограниченным временем общения с пациентом. На этом фоне доступные цифровые решения, включая веб- и мобильные программы с визуализацией и интерактивным тестированием, показывают эффективность и гибкость и не требуют сложного оборудования. Рандомизированные исследования подтверждают пользу таких материалов для обучения навыкам аускультации, а сопоставимые выводы демонстрируют и клинические телемедицинские практики в кардиологии и нейрореабилитации, где дистанционные форматы доказали эффективность и управляемость внедрения [6, 7].

Эти вызовы современного медицинского образования создают устойчивый спрос на доступные технологические решения, позволяющие студентам и практикующим врачам систематически отрабатывать аускультативные навыки. Как показывают современные исследования, электронные и веб-приложения предлагают гибкую альтернативу традиционным методам обучения. Их ключевые преимущества включают отсутствие необходимости в сложном аппаратном обеспечении, возможность создания обширных баз аускультативных звуков и интеграцию интерактивных тестовых модулей, что в совокупности открывает новые перспективы для совершенствования медицинского образования [4].

Целью данной работы является апробация разработанного тренажера [8] в рамках реальной педагогической практики. Это позволит оценить его эффективность в обучении студентов, улучшить качество подготовки медицинских специалистов и интегрировать современные технологии в учебный процесс. Апробация тренажера также поможет выявить возможные направления для его дальнейшего совершенствования и расширения функциональных возможностей.

Материалы и методы. Обучение аускультации в реальной клинической практике затрудняется ограниченным доступом к типичным и редким случаям, необходимостью стандартизации учебного материала и объективного контроля усвоения навыков, поэтому в рамках исследования для цифрового тренажера аускультации использовали реальные аудиозаписи нормальных и патологических дыхательных и сердечных звуков, систематизированных по современным клиническим классификациям, описание звуковых феноменов и их характеристика представлены в таблице [1, 4, 9, 10].

Аудиозаписи аускультативных феноменов получены в условиях реальной клинической практики и из учебного архива кафедры при наличии информированного согласия и одобрения локального этического комитета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ЛЭК ФГБОУ ВО РязГМУ) (протокол № 10 от 10.05.2017). Для включения применяли критерии отбора: подтвержденная клиническая интерпретация феномена, достаточное отношение сигнал / шум, отсутствие выраженных посторонних артефактов. Записи аускультативных феноменов при заболеваниях легких производились в межлопаточной области, записи шумов сердца производили в точках аускультации сердца с использованием электронного стетоскопа “3M™ Littmann® 3200” (США). Каждая запись маркировалась по феномену, точке аускультации. Полученные аудиофайлы обработаны компьютерными программами “Spectrogram 5.0” (“Richard Horne”, США) и “Adobe Audition 10.0” (производства “Adobe”, США) с применением спектрального анализа Фурье. Базовая предобработка включала обрезку участков тишины, нормализацию уровня и удаление явных артефактов без агрессивной фильтрации, способной исказить спектральную структуру.

Таблица. **Использованные звуковые феномены и их характеристика**
Table. **The sound phenomena used and their characteristics**

Феномен	Краткое акустическое описание	Типичные причины
Легочные шумы		
Везикулярное дыхание (Vesicular breathing)	Мягкий низко- и среднечастотный шум, вдох звучит дольше и громче, выдох короче и тише	Здоровая лёгочная ткань
Бронхиальное дыхание (Bronchial breathing)	Мягкий немusыкальный шум, выслушиваемый как на вдохе, так и на выдохе, по характеру напоминающий трахеальное дыхание. Вдох и выдох сопоставимы по длительности и интенсивности	Консолидация при пневмонии и ателектаз

Продолжение табл.

Феномен	Краткое акустическое описание	Типичные причины
Свисты, сухие хрипы (Wheezes, dry rales)	Высокочастотные непрерывные музыкальные тоны длительностью >100 мс, преимущественно экспираторные, с возможным полифоническим слиянием. Генерируются осцилляцией стенок суженных дыхательных путей	Локализованный свистящий шум – очаговое сужение или обструкция (инородное тело, опухоль бронха). Бронхиальная астма и хроническая обструктивная болезнь лёгких
Жужжащие хрипы (Rhonchi)	Низкочастотные (100–300 Гц) непрерывные гудящие звуки, изменяющиеся или исчезающие после кашля; механизм образования связан с вибрацией стенок от колебаний секрета в крупных дыхательных путях	Накопление секрета в крупных дыхательных путях
Мелкопузырчатые хрипы (Fine crackles)	Немузыкальные, короткие «взрывные» звуки; преимущественно выслушиваются в середине и конце вдоха, реже на выдохе; не изменяются после кашля, чаще регистрируются в нижних (зависимых) отделах лёгких и не проводятся к ротовой полости	Интерстициальный лёгочный фиброз, застойная сердечная недостаточность, пневмония; могут быть ранним признаком интерстициального поражения лёгких
Крупнопузырчатые влажные хрипы (Coarse crackles)	Немузыкальные, короткие «взрывные» звуки; выслушиваются в начале вдоха и на протяжении выдоха, изменяются или исчезают после кашля, хорошо проводятся к ротовой полости	Хронический бронхит, хроническая обструктивная болезнь лёгких, бронхоэктазы, выраженное накопление секрета в бронхах, пневмония
Крепитация (Crepitus)	Короткие, высокочастотные, незвучные щелчки, преимущественно в конце вдоха; не изменяются при кашле, как правило, локализуются в базальных отделах и плохо проводятся к ротовой полости	Интерстициальные заболевания лёгких, интерстициальный фиброз (классический «velcro-crackle»)
Шум трения плевры (Pleural friction rub)	Немузыкальные, грубые, скребущие, обычно двухфазные звуки, выслушиваемые на вдохе и выдохе; чаще определяются в базальных отделах, не исчезают после кашля и могут усиливаться при прижатии стетоскопа	Воспаление плевры (сухой плеврит), плевральные опухолевые поражения, постинфарктный или аутоиммунный плеврит
Сердечные шумы		
Первый тон сердца	Щелчок закрытия митрального и трёхстворчатого клапанов в начале систолы, на верхушке он звучит насыщеннее	Норма, вариабелен при изменении преднагрузки и проводимости
Второй тон сердца	Звук закрытия аортального и лёгочного клапанов в конце систолы, у основания слышен лучше	Норма, возможна физиологическая расщеплённость на вдохе
Третий тон	Низкочастотный раннедиастолический звук наполнения желудочка	Норма у молодых, признак перегрузки объёмом у взрослых
Систолический шум аортального стеноза	Грубый нарастающе-убывающий шум с максимумом в середине систолы	Кальцинированный стеноз аортального клапана
Пансистолический шум митральной регургитации	Длительный ровный систолический шум, перекрывающий весь период систолы	Недостаточность митрального клапана
Диастолический шум митрального стеноза	Низкочастотный гул с пресистолическим усилением и щелчком открытия митрального клапана	Ревматический стеноз митрального клапана
Раннедиастолический шум аортальной регургитации	Высокий убывающий шум сразу после второго тона	Недостаточность аортального клапана

Цифровой тренажер реализует два режима: тренировочный и тестовый. В тренировочном режиме обучающийся многократно прослушивает и анализирует звуковые феномены с доступом к кратким академическим описаниям с подсказками от языковой нейросетевой модели (LLM). В тестовом режиме участнику предлагается серия заданий с выбором ответа, что обеспечивает накопление объективных показателей выполнения и сопоставимость результатов между группами. Концепция цифрового тренажера приведена на рисунке 1.

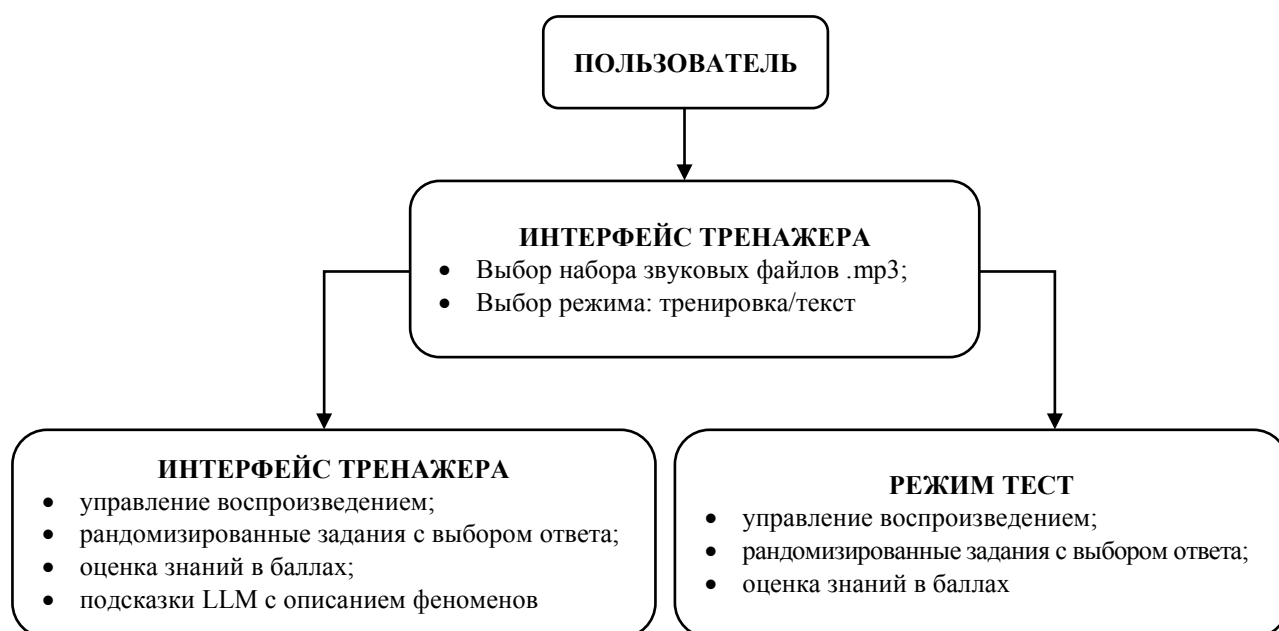


Рисунок 1. **Концептуальная схема тренажера с использованием нейросетевой языковой модели.**
 Примечание: LLM, Large Language Model – большая языковая модель (нейросетевая языковая модель), которая предоставляет объяснения и дополнительную информацию по медицинским феноменам
 Figure 1. **Conceptual scheme of a training simulator using a neural network language model.**
 Note: LLM – Large Language Model (neural network-based language model) that provides explanations and additional information regarding medical phenomena

Апробация, одобренная ЛЭК ФГБОУ ВО РязГМУ (протокол № 1 от 16.09.2025), была проведена на выборке из 20 врачей и 109 студентов четвёртого, пятого и шестого курсов. Участники устанавливали программу на персональные ноутбуки под управлением Windows 10 или Windows 11 и выполняли тестовые задания по разделам пульмонологии и кардиологии, часть студентов повторно прошла тестирование через одну неделю для оценки краткосрочной динамики, подгруппа повторного тестирования включала тридцать восемь человек. Основным исходом являлось суммарное количество верных ответов по каждому профилю (сердечные шумы, легочные шумы), дополнительным исходом считалось изменение показателей при повторном тестировании в подгруппе.

Опция нейросетевой языковой модели использовалась исключительно в учебном режиме для выдачи кратких терминологических пояснений и ответов на часто задаваемые вопросы. В тестовом режиме все подсказки отключены, доступ к нейросетевой языковой модели отсутствует; таким образом, результаты тестирования не зависели от работы языковой модели и/или наличия интернет-соединения.

Статистический анализ выполняли с использованием приложения JASP (JASP Team (2025). JASP (Version 0.95.1) [Computer software].). Уровень статистической значимости принимали равным $p < 0,05$. Распределение показателей, которое определяли с помощью критерия Шапиро-Уилка, было отлично от нормального, в связи с чем для характеристики показателей использовали медиану и квартили $Me [Q1; Q3]$. Для оценки статистических различий измеряемых показателей в группах использовали критерий Манна – Уитни. Для оценки различий в динамике между связанными группами использовали критерий Уилкоксона. Для построения графиков средства “Microsoft Word” и “Excel” (Microsoft Inc.).

Результаты и их обсуждение. В тестах на распознавание дыхательных шумов у врачей ($n = 20$) медиана составила 7[6;8] при диапазоне от 4 до 9 баллов, у студентов ($n = 109$) – 7[6;7] при разбросе от 2 до 10 баллов, межгрупповых различий не выявлено, $p = 0,526$. В тестах на распознавание сердечных шумов у врачей медиана равнялась 2,5[2;3] с пределами от 0 до 4 баллов, у студентов – 2[2;3] при интервале от 0 до 5 баллов, различий также не обнаружено, $p = 0,822$. В подгруппе студентов, у которых повторно тестировался навык распознавания дыхательных шумов ($n = 38$) медиана при первом прохождении была 6[6;7] с диапазоном от 3 до 9 баллов, через неделю – 7[5;8,75] при значениях от 3 до 10 баллов, статистически значимой динамики не отмечено, $p = 0,729$. По распознаванию сердечных шумов в той же подгруппе медиана при первом тестировании составляла 2[2;2] с диапазоном

от 0 до 4 баллов, при повторном – 3[3;4] с диапазоном от 1 до 5 баллов, различия статистически значимы, $p = 0,002$, что указывает на улучшение навыка распознавания и соответствует приросту медианы на один балл, то есть на пятьдесят процентов. Полученные данные позволяют предположить, что даже кратковременное применение данного программного обеспечения может способствовать улучшению диагностических умений. Динамика баллов, полученных при использовании тренажера, отражена на рисунке 2.

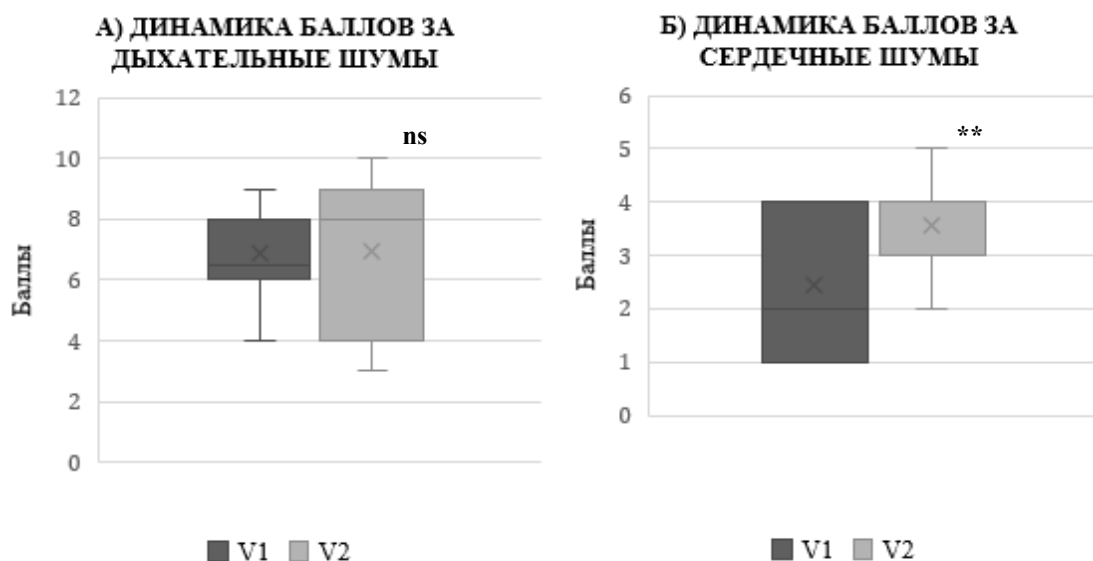


Рисунок 2. Динамика показателей баллов студентов за распознавание шумов

Примечание: V1 – первое тестирование; V2 – второе тестирование, после недели самостоятельной подготовки студентов с использованием тренажера; **статистически значимые различия с $p < 0,01$; ns – статистически незначимые различия

Figure 2. Dynamics of students' scores for noise recognition

Note: V1 – initial testing; V2 – follow-up testing after one week of independent student training with the simulator; **differences are statistically significant at $p < 0.01$; ns – non-significant differences

Использование тренажера продемонстрировало, что разработанный программный продукт не вызывает затруднений в запуске и освоении. Среднее время, затраченное на настройку и старт работы, не превышало 3–5 мин. Студенты отмечали, что наличие внутреннего тестового модуля мотивирует их возвращаться к упражнению неоднократно, чтобы улучшить результаты, что согласуется с зарубежными данными об эффективности геймификации в обучении медицинским навыкам.

По сравнению с традиционным форматом, где преподаватель даёт для прослушивания несколько звуков и просит охарактеризовать их «вслепую», новый тренажёр даёт возможность многократно и самостоятельно повторять одно и то же звучание, пока оно не будет чётко освоено. Это особенно ценно при отработке похожих шумов, например, дифференциации влажных хрипов от крепитации. Несмотря на простоту, программа способна масштабироваться за счёт добавления новых аудиофайлов.

Ограничения касаются отсутствия тонкой частотной фильтрации, которая присутствует в некоторых современных веб-симуляторах, имитирующих акустическую среду для более реалистичного позиционирования шумов. Кроме того, если у пользователя нет доступа к Интернету, функция контекстной помощи нейросетевой языковой модели через внешние интерфейсы программирования приложений (Application Programming Interface, API) становится недоступной, однако это не влияет на основные возможности обучающего и тестового режимов.

В целом, по отзывам испытуемых, тренажёр ускоряет процесс освоения аускультации, повышает уверенность в распознавании клинически важных шумов и стимулирует интерес к самостоятельной работе, что подтверждалось статистически значимым приростом баллов, набранных в рамках контрольной оценки. Это позволяет предположить, что электронные решения могут быть эффективным дополнением к классической подготовке и обучению у постели больного. При этом крайне важно поддерживать качество базы аудиозаписей и расширять её новыми клиническими примерами, чтобы охватывать различные патологические состояния лёгких.

У студентов разница между тестами № 1 и 2 связанными с оценкой дыхательных шумов минимальна, с практически постоянными медианными значениями 7 баллов. Это указывает на исходно хороший уровень подготовки студентов и его однородность. Интересно, что в целом, показатели в разделе пульмонологии были выше, чем в кардиологии, что может указывать на более простые для восприятия звуковые феномены в пульмонологии или более эффективные методы обучения. Легочные аускультативные феномены могут быть более понятными и легче интерпретируемыми, чем сердечные, что облегчает обучение и оценку.

Значимое увеличение показателей студентов в тестах на распознавание сердечных шумов может объясняться как внедрением нового формата обучения, так и ростом учебной мотивации на фоне структурированного самостоятельного тренинга. Рандомизированные исследования показывают, что короткие мультимедийные онлайн-модули на основе реальных фонокардиограмм заметно улучшают умение различать безобидные и патологические шумы, а эффект усиливается при большей дозе практики [11]. При этом сердечные шумы остаются одними из наиболее трудных для интерпретации аускультативных феноменов: их корректная оценка требует увязки тембра, высоты, длительности и локализации звука с фазами сердечного цикла, что подтверждается как исследованиями у постградуальных врачей-слушателей у постели пациента, так и современными данными о снижении владения навыком в динамике у разных групп, обучающихся [12, 13]. Ограничения традиционного очного формата (вариабельность клинических случаев, работа большими группами, дефицит времени у пациента и преподавателя) обосновывают переход к доступным цифровым решениям. Систематический обзор рандомизированных исследований по обучению сердечной аускультации показывает, что симуляционное обучение повышает знания и навыки по сравнению с отсутствием вмешательства, а по эффективности нередко не уступает более сложным и дорогим высокореалистичным системам, что поддерживает выбор простых, масштабируемых форматов [14].

Исследование имеет ряд ограничений, связанных с проведением в одном учреждении и небольшим объёмом выборки, а также оценкой лишь краткосрочной динамики. Группа врачей была неоднородной по специальности и стажу. Эти обстоятельства следует учитывать при интерпретации результатов и планировании последующих, более масштабных исследований.

Таким образом, апробация тренажера продемонстрировала как диагностическую роль тренажера, так и его возможный потенциал в улучшении навыков аускультации, что особенно в части распознавания сердечных шумов. Возможность многократной практики и дифференциации сложных звуков напрямую способствует повышению уровня приобретаемых компетенций и точности диагностики в целом.

Выводы. Проведённая апробация показала, что разработанный цифровой тренажёр аускультации пригоден для использования в учебном процессе, не требует дорогостоящего оборудования и легко интегрируется в существующие программы и способен значимо улучшить навык аускультации шумов. Тренажёр может рассматриваться как доступное и эффективное дополнение к традиционному обучению. Ограничения исследования, включая одно учреждение, небольшой объём выборки и краткий интервал повторного тестирования, обуславливают необходимость подтверждения результатов в более крупных и рандомизированных работах, а дальнейшее развитие проекта связано с расширением библиотеки звуков и совершенствованием алгоритмов оценки.

Раскрытие информации. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Disclosure of information. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMUE. Глотов С. И.: сбор, анализ и интерпретация результатов работы, подготовка первоначального проекта, подготовка рукописи к публикации. Урясьев О. М.: руководство, управление проектом, рецензирование и редактирование. Бельских Э. С.: дизайн программного обеспечения и интерфейса тренажёра, рецензирование и редактирование.

Authors contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMUE criteria. S. I. Glotov: data collection, analysis, and interpretation; drafting the initial manuscript; preparation of the manuscript for publication. O. M. Uryasyev: supervision, project administration, critical review and editing. E. S. Belskikh: software and simulator interface design; critical review and editing.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bohadana A., Izbicki G., Kraman S. S. Fundamentals of lung auscultation // *The New England Journal of Medicine*. 2014. Vol. 370, no. 8. P. 744–751. doi: 10.1056/NEJMra1302901.
2. Kligfield P. The Bicentennial of the Stethoscope: 1816 to 2016 // *American Journal of Cardiology*. 2016. Vol. 118, no. 10. P. 1601–1602. doi: 10.1016/j.amjcard.2016.08.033.
3. Pasterkamp H., Kraman S. S., Wodicka G. R. Respiratory sounds. Advances beyond the stethoscope // *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 1997. Vol. 156, no. 3. P. 974–987. doi: 10.1164/ajrccm.156.3.9701115.
4. Kim Y., Hyon Y., Lee S., Woo S. D., Ha T., Chung C. The coming era of a new auscultation system for analyzing respiratory sounds // *BMC Pulmonary Medicine*. 2022. Vol. 22, no. 1. P. 119. doi: 10.1186/s12890-022-01896-1.
5. Hafke-Dys H., Bręborowicz A., Kleka P., Kociński J., Biniakowski A. The accuracy of lung auscultation in the practice of physicians and medical students // *PLOS ONE*. 2019. Vol. 14, no. 8. P. e0220606. doi: 10.1371/journal.pone.0220606.
6. Правкина Е. А., Переверзева К. Г., Буданова И. В., Якушин С. С. Телемедицина: определение, особенности внедрения в практику, эффективность и перспективы применения в кардиологии // *Наука молодых (Eruditio Juvenium)*. 2023. Т. 11, № 3. С. 435–446. <https://doi.org/10.23888/HMJ2023113435-446>.
7. Белова А. Н., Кузнецов А. Н., Сушин В. О., Резенова А. М., Шабанова М. А., Шейко Г. Е., Ананьев Р. Д. Теленейрореабилитация при неврологических нарушениях и заболеваниях: возможности, эффективность и препятствия // *Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова*. 2024. Т. 32, № 1. С. 159–170. doi: 10.17816/PAVLOVJ364502.
8. Св-во о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025661319. Российская Федерация. Тренажёр аускультации с интеграцией нейросетевой модели для описания шумов / Глотов С. И., Уряшев О. М., Бельских Э. С., Пономарева И. Б., Котляров С. Н.; заявитель ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Минздрава России. Заявл. 22.04.2025; опубл. 05.05.2025. EDN SOAQMA.
9. Murphy R. L. H. In defense of the stethoscope // *Respiratory Care*. 2008. Vol. 53, no. 3. P. 355–369.
10. Vyshedskiy A., Alhashem R. M., Paciej R., Ebril M., Rudman I., Fredberg J. J., Murphy R. Mechanism of inspiratory and expiratory crackles // *Chest*. 2009. Vol. 135, no. 1. P. 156–164. doi: 10.1378/chest.07-1562.
11. Doroshov R. W., Aldrich J., Dornier R., Lyons L., McCarter R. A randomized, controlled trial of an innovative, multimedia instructional program for acquiring auditory skill in identifying pediatric heart murmurs // *Frontiers in Pediatrics*. 2024. No. 11. P. 1283306. doi: 10.3389/fped.2023.1283306.
12. Favrat B., Pécoud A., Jaussi A. Teaching cardiac auscultation to trainees in internal medicine and family practice: Does it work? // *BMC Medical Education*. 2004. No 4. P. 5. doi: 10.1186/1472-6920-4-5.
13. Zhang N. S., Yang J. Y., Goldhaber J. I., Phan B. A. P., Cheitlin M. D. Cardiac auscultation skills among medical trainees // *American Heart Journal*. 2025. No. 286. P. 14–17. doi: 10.1016/j.ahj.2025.03.006.
14. Osborne C., Brown C., Mostafa A. Effectiveness of high- and low-fidelity simulation-based medical education in teaching cardiac auscultation: a systematic review and meta-analysis // *International Journal of Healthcare Simulation*. 2022. Vol. 1, no. 3. P. 75–84. doi: 10.54531/NZWS5167.

References

1. Bohadana A., Izbicki G., Kraman S. S. Fundamentals of lung auscultation. *N Engl J Med*. 2014; 370 (8): 744–751. doi: 10.1056/NEJMra1302901.
2. Kligfield P. The bicentennial of the stethoscope: 1816 to 2016. *Am J Cardiol*. 2016; 118 (10): 1601–1602. doi: 10.1016/j.amjcard.2016.08.033.
3. Pasterkamp H., Kraman S. S., Wodicka G. R. Respiratory sounds. Advances beyond the stethoscope. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997; 156 (3): 974–987. doi: 10.1164/ajrccm.156.3.9701115.
4. Kim Y., Hyon Y., Lee S., Woo S.D., Ha T., Chung C. The coming era of a new auscultation system for analyzing respiratory sounds. *BMC Pulm Med*. 2022; 22 (1): 119. doi: 10.1186/s12890-022-01896-1.
5. Hafke-Dys H., Bręborowicz A., Kleka P., Kociński J., Biniakowski A. The accuracy of lung auscultation in the practice of physicians and medical students. *PLoS One*. 2019; 14 (8): e0220606. doi: 10.1371/journal.pone.0220606.
6. Pravkina E. A., Pereverzeva K. G., Budanova I. V., Yakushin S. S. Telemedicine: definition, features of implementation in practice, effectiveness and prospects in cardiology. *Nauka Molodykh (Eruditio Juvenium)*. 2023; 11 (3): 435–446. doi: 10.23888/HMJ2023113435-446. (In Russ.).
7. Belova A. N., Kuznetsov A. N., Sushin V. O., Rezenova A. M., Shabanova M. A., Sheiko G. E., Ananyev R. D. Teleneurorehabilitation in neurological disorders and diseases: opportunities, effectiveness and barriers. *I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2024; 32 (1): 159–170. doi: 10.17816/PAVLOVJ364502. (In Russ.).
8. Glotov S. I., Uryasev O. M., Belskikh E. S., Ponomareva I. B., Kotlyarov S. N. Trenazher auskultatsii s integratsiei neurosetevoi modeli dlya opisaniya шумов [Auscultation trainer with a neural-network model for sound description]. Certificate of state registration of computer program No. 2025661319, Russian Federation; filed 2025-04-22; published 2025-05-05 (In Russ.).

9. Murphy R. L. H. In defense of the stethoscope. *Respir Care*. 2008; 53 (3): 355–369.
10. Vyshedskiy A., Alhashem R. M., Paciej R., Ebril M., Rudman I., Fredberg J. J., Murphy R. Mechanism of inspiratory and expiratory crackles. *Chest*. 2009; 135 (1): 156–164. doi: 10.1378/chest.07-1562.
11. Doroshov R. W., Aldrich J., Dornier R., Lyons L., McCarter R. A randomized, controlled trial of an innovative, multimedia instructional program for acquiring auditory skill in identifying pediatric heart murmurs. *Front Pediatr*. 2024; 11: 1283306. doi: 10.3389/fped.2023.1283306.
12. Favrat B., Pécoud A., Jaussi A. Teaching cardiac auscultation to trainees in internal medicine and family practice: Does it work? *BMC Med Educ*. 2004; 4: 5. doi: 10.1186/1472-6920-4-5.
13. Zhang N. S., Yang J. Y., Goldhaber J. I., Phan B. A. P., Cheitlin M. D. Cardiac auscultation skills among medical trainees. *Am Heart J*. 2025; 286: 14–17. doi: 10.1016/j.ahj.2025.03.006.
14. Osborne C., Brown C., Mostafa A. Effectiveness of high- and low-fidelity simulation-based medical education in teaching cardiac auscultation: a systematic review and meta-analysis. *Int J Healthc Simul*. 2022; 1 (3): 75–84. doi: 10.54531/NZWS5167.

Информация об авторах

С. И. Глотов, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры факультетской терапии им. профессора В. Я. Гармаша, Рязанский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова, Рязань, Россия, ORCID: 0000-0002-4445-4480, e-mail: sergeyglot@mail.ru;

О. М. Урясьев, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой факультетской терапии им. профессора В. Я. Гармаша, Рязанский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова, Рязань, Россия, ORCID: 0000-0001-8693-4696, e-mail: uryasev08@yandex.ru;

Э. С. Бельских, кандидат медицинских наук, доцент кафедры факультетской терапии им. профессора В. Я. Гармаша, Рязанский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова, Рязань, Россия, ORCID: 0000-0003-1803-0542, e-mail: ed.bels@yandex.ru.

Information about the authors

S. I. Glotov, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia, ORCID: 0000-0002-4445-4480, e-mail: sergeyglot@mail.ru;

O. M. Uryasyev, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia, ORCID: 0000-0001-8693-4696, e-mail: uryasev08@yandex.ru;

E. S. Belskikh, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department, Ryazan State Medical University, Ryazan, Russia, ORCID: 0000-0003-1803-0542, e-mail: ed.bels@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 24.09.2025; одобрена после рецензирования 30.10.2025; принята к публикации 03.12.2025.

The article was submitted 24.09.2025; approved after reviewing 30.10.2025; accepted for publication 03.12.2025.