

Цифровой стетоскоп — новая эра аускультации

А.А. Гаранин, О.Ю. Айдумова, А.О. Рубаненко, Е.Г. Бибилова
Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье представлен обзор современных электронных и цифровых стетоскопов. Проведен анализ публикаций за последние 10 лет с использованием поисковых систем eLIBRARY.ru, PubMed, Google Scholar по ключевым словам: «аускультация», «электронный стетоскоп», «цифровой стетоскоп», «телемедицина». Рассмотрены новые возможности аускультации при использовании цифровых стетоскопов. Даны краткие характеристики изделий наиболее востребованных на рынке производителей. Повышение функционала и универсальности цифрового стетоскопа (возможность анализировать звуки сердца, лёгких, кишечника и других органов), а также улучшение шумоподавления и фильтрации полученного звука позволят сделать цифровые стетоскопы ещё более привлекательными для использования. По мере решения этих задач цифровой стетоскоп определенно станет незаменимым инструментом в диагностике, мониторинге и лечении заболеваний, а также самоконтроле пациентов. Перспективным направлением использования современных моделей цифровых стетоскопов представляется телемониторинг пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Особенно важна оценка аускультативной картины пациентов в динамике, при длительном наблюдении, что может способствовать раннему выявлению осложнений и декомпенсаций различных хронических неинфекционных заболеваний, например, хронической обструктивной болезни легких, бронхиальной астмы, инфаркта миокарда и т.д.

Ключевые слова: аускультация; электронный стетоскоп; цифровой стетоскоп; телемедицина.

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Гаранин А.А., Айдумова О.Ю., Рубаненко А.О., Бибилова Е.Г. Цифровой стетоскоп — новая эра аускультации // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 4. С. ZZ-ZZ. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD632499>

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2024

Рукопись получена: 22.05.2024
Рукопись одобрена: 06.06.2024
Опубликована online: 05.11.2024

Accepted for publication

Digital stethoscope — new era of auscultation

Andrey A. Garanin, Olesya Yu. Aydumova, Anatoly O. Rubanenko, Elena G. Bibikova
Samara State Medical University, Samara, Russia

ABSTRACT

This review is devoted to electronic and digital stethoscopes. We performed analysis of publications within last 10 years using eLIBRARY.ru, PubMed and Google Scholar search engines. Key words for the search were «auscultation», «electronic stethoscope», «digital stethoscope», «telemedicine». Review contains an information about new possibilities in auscultation by using digital stethoscopes. We provided an information about brief characteristics of the products of the most popular manufacturers on the Market. Increasing of functionality and versatility (the ability to analyze heart, lungs and intestine sounds) of digital stethoscope and also increasing of noise reduction and sound filtration will make these devices more attractable for everyday use. When these tasks will be solved, the digital stethoscope will definitely become an indispensable tool in the diagnosis, monitoring and treatment of diseases, as well as patients' self-monitoring. Contemporary models of digital stethoscopes can be used in telemonitoring of the patients with cardiovascular and respiratory diseases. In this case it is possible to estimate the results of auscultation in dynamics, during long term follow up. This can contribute to early evaluation of complications and decompensations in patients with chronic non-infectious diseases such as chronic obstructive pulmonary diseases, asthma, myocardial infarction, etc.

Keywords: auscultation; electronic stethoscope; digital stethoscope; telemedicine.

TO CITE THIS ARTICLE:

Garanin AA, Aydumova OYu, Rubanenko AO, Bibikova EG. Digital stethoscope — new era of auscultation. *Digital Diagnostics*. 2024;5(4):ZZ-ZZ. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD632499>

This article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2024

Submitted: 22.05.2024

Accepted: 06.06.2024

Published online: 05.11.2024

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших этапов объективного осмотра пациента является аускультация звуковых явлений, сопровождающих работу внутренних органов. Опосредованную аускультацию применяют почти 200 лет, с момента создания первого стетоскопа Р. Лаэннеком в 1816 году. Предложенная им воронка с мембраной позволила усилить громкость звуковых сигналов. В 1940 году М. Раппапорт и Х. Спрэг усовершенствовали строение стетоскопа, предложив двустороннюю головку с комбинацией воронки и мембраны [1]. Долгое время стетоскоп не менял своего облика.

Простота использования, экономичность и широкая доступность делают классический стетоскоп популярным среди работников здравоохранения [2]. Следует отметить, что, несмотря на простоту и надёжность метода классической аускультации, он имеет ряд недостатков. В первую очередь, это наличие искажений передаваемых звуковых сигналов, связанное с акустическими свойствами головки стетоскопа, гибкостью стенок звукопровода, а также с индивидуальными особенностями пациента (толщина грудной клетки). Кроме того, восприятие звука носит субъективный характер и зависит от возраста и опыта исследователя [3, 4]. Наконец, при классической аускультации остаётся недоступным анализ звуковых явлений другими специалистами без участия пациента, а полученные данные безвозвратно утрачиваются [5]. Это создает сложности при консультировании пациентов с применением телемедицинских технологий, при дистанционном мониторинге и анализе физикальных данных пациента в спорных ситуациях и в судебной практике [6].

Пандемия COVID-19 также показала необходимость разработки нового подхода к аускультации с применением стетоскопов, которые могли бы обеспечить дистанционный мониторинг и минимизировать риск заражения медицинского работника при обследовании пациента [7].

ЭЛЕКТРОННЫЙ СТЕТОСКОП

Новые возможности аускультации появились с созданием электронного стетоскопа. Электронный стетоскоп состоит из трёх модулей: сбора данных, предварительной обработки и преобразования сигнала. Модуль сбора данных обеспечивает фильтрацию, буферизацию и усиление прослушиваемых звуков, а также преобразование акустического сигнала в цифровой. Модуль предварительной обработки фильтрует сигнал и удаляет артефакты. Затем данные поступают в модуль преобразования сигнала, который группирует данные для принятия клинического диагностического решения [8].

Выделяют несколько видов датчиков электронных стетоскопов в зависимости от используемого механизма преобразования звука в аналоговый электрический сигнал.

- **Датчик с двойной диафрагмой:** звуковые колебания фиксируются диафрагмой стетоскопа и передаются на диафрагму внутри микрофона. Однако, две диафрагмы, разделенные воздушным каналом, могут привести к чрезмерному увеличению уровня окружающего шума и неточной передаче звукового сигнала.
- **Пьезоэлектрический датчик:** звуки, улавливаемые диафрагмой стетоскопа, вызывают изменение структуры кристаллического вещества, приводящее к преобразованию звукового сигнала в электрический.
- **Микроэлектромеханическая система.** Диафрагма стетоскопа находится в поле номинальной ёмкости, где ёмкость изменяется в соответствии с давлением звуковой волны. Изменение ёмкости преобразовывает звуковой сигнал в электрический [9, 10].

Шумоподавление окружающей среды также является одной из задач электронного стетоскопа. П. Каин с соавт. протестировали электронные стетоскопы в условиях имитируемого шума вертолета на уровне 70–100 дБ с целью определения порогового уровня шума для аускультации лёгких и сердца. Порог интенсивности шума для выслушивания тонов сердца составил 85 дБ, дыхательных шумов — 75–80 дБ. Исходя из этого, необходимо повышение соотношения сигнал/шум как минимум на 30 дБ, что можно реализовать путём улучшения шумоподавления. Это позволит применять электронный стетоскоп в условиях стихийных бедствий и при медицинской транспортировке пациента [11]. Данную проблему удалось решить использованием цифрового фильтра, способного извлечь из электронного сигнала интересующий диапазон частот [1, 2]. Звуковые явления, возникающие при работе внутренних органов, имеют разные частоты. Существующие цифровые стетоскопы позволяют подбирать различные частотные режимы для наилучшего выслушивания отдельных звуков, например, дыхательных шумов или тонов сердца. Например, электронный стетоскоп Welch Allyn Elite™ (Welch Allyn, США) имеет частотный режим 20–420 Гц для аускультации сердца и частотный режим 350–1900 Гц для аускультации лёгких. Таким образом, электронный стетоскоп позволяет улучшить качество и громкость звука. Так,

стетоскоп 3M™ Littmann® CORE (3M, США) с пьезоэлектрическим датчиком усиливает звук в 40 раз, а стетоскоп Thinklabs One™ (Thinklabs, США) с микроэлектромеханическим датчиком — в 100 раз [12, 13].

Безусловно, электронный стетоскоп позволяет повысить диагностическую ценность метода аускультации [14]. Ф. Азимпур с соавт. в 2016 году изучили возможности использования электронного стетоскопа для акустической диагностики гемодинамически значимого (более 50%) стеноза коронарной артерии путём обнаружения внутрикоронарных шумов, вызванных турбулентным потоком крови в артерии при таком стенозе. Коронарную анатомию, а также наличие и выраженность атеросклеротических поражений верифицировали по данным коронарной ангиографии. Чувствительность и специфичность обнаружения стеноза коронарной артерии по данным аускультации электронным стетоскопом составила 70% и 80%, соответственно ($p < 0,001$) [15]. Предложено несколько тест-систем электронной аускультации для выявления обструктивной ишемической болезни сердца: CSA SonoMedica model 3.0™ (SonoMedica, США), CADence Ironman™ (AUM Cardiovascular, США), CADScor System™ (Acarix AB, Швеция). В эксперименте данные тест-системы статистически значимо выявили обструктивное поражение коронарных артерий с чувствительностью 81–89,5% и специфичностью 53–83% [16].

В целом, использование электронного стетоскопа расширяет возможности аускультации благодаря усилению звукового сигнала и подавлению побочных шумов.

ЦИФРОВОЙ СТЕТОСКОП

Подавляющее большинство современных электронных стетоскопов имеют функцию записи и передачи звука на компьютер или смартфон. Дав пациенту инструкции по размещению головки стетоскопа, врач может удалённо прослушивать и анализировать звуковые сигналы. Это обеспечивает дистанционный мониторинг пациентов, находящихся на карантине (например, в связи с COVID-19) или в труднодоступных районах, а также анализ звуковых явлений несколькими исследователями одновременно в целях повышения качества телемедицинских консультаций [17].

Ещё одно преимущество цифровизации аускультации — повышение качества подготовки студентов медицинских вузов. Симуляторы аускультации воспроизводят звуковые сигналы, предварительно записанные у пациентов с различными заболеваниями сердца и лёгких, позволяя аудитории прослушивать запись [18]. Функция графического представления сигнала в виде спектрограммы делает процесс обучения методу аускультации более наглядным, позволяя выявить спектрографические «паттерны» различных заболеваний [19].

Цифровизация данных позволила использовать алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ) для анализа звуковых явлений, открыв новые возможности для аускультации. Наиболее распространённым методом обработки звука является преобразование Фурье, обеспечивающее анализ частотных компонентов звукового сигнала. Алгоритм машинного обучения на основе искусственной нейронной сети позволяет дополнительно обрабатывать полученную информацию и соотносить различные частоты сигнала с конкретными аускультативными явлениями. А. Гурунг с соавт. провели метаанализ исследований для оценки прогностических возможностей сочетания цифровой аускультации лёгких с компьютерными алгоритмами обработки и анализа данных. Чувствительность и специфичность выявления патологических дыхательных шумов с использованием компьютерных алгоритмов составили 85% и 80%, соответственно [20].

Следующим этапом в развитии цифровой аускультации стала возможность не только обнаружения патологических звуковых явлений при работе внутренних органов, но и диагностики заболеваний с помощью компьютерных алгоритмов. Так, Т. Каддура с соавт. проанализировали возможность диагностики лёгочной гипертензии на основе аускультации сердца и лёгких. Аускультативную картину, полученную с применением цифрового стетоскопа, сравнивали у здоровых лиц и пациентов с лёгочной гипертензией. Выявили, что компьютерный алгоритм диагностировал лёгочную гипертензию по данным аускультации в 74% случаев [21].

Таким образом, современный цифровой стетоскоп обладает следующими преимуществами [22].

- ⊗ **Высокое качество звуковых сигналов.** Усиление звуков, возникающих при работе внутренних органов, и шумоподавление окружающей среды облегчают работу клинициста в условиях повышенной шумовой нагрузки: в полевых условиях, зонах чрезвычайных ситуаций и переполненных отделениях, при транспортировке пациента.
- ⊗ **Удалённое обследование пациента.** Отсутствие необходимости прямого контакта актуально при географической удалённости пациента и при использовании врачом средств индивидуальной защиты в условиях радиационной, биологической или химической опасности.
- ⊗ **Мониторинг звуковых явлений в амбулаторных условиях.** Непрерывная аускультация пациента

в покое и во время повседневной активности, в том числе при физической нагрузке, а также получение информации от нескольких датчиков в разных частях тела обеспечивают оценку состояния пациента в динамике.

- ⊗ Сохранение данных аускультации. Возможность повторной оценки данных увеличивает эффективность телемедицинских консультаций и облегчает разрешение спорных ситуаций в судебно-медицинской практике. Банк записей аускультативных явлений, характерных для различных заболеваний, можно использовать при подготовке студентов медицинских вузов.
- ⊗ Диагностика заболеваний на основе алгоритмов ИИ.

Сравнение традиционного и электронного стетоскопов приведено в табл. 1.

Все модели цифровых стетоскопов, представленные на рынке, обладают функциями усиления звукового сигнала и шумоподавления, а также записи и передачи полученных данных на персональный компьютер или смартфон через Bluetooth. Стетоскоп 3M™ Littmann® 3200 (3M Littmann, США) — один из наиболее популярных инструментов для цифровой аускультации (рис. 1, а). Данный прибор усиливает звуковой сигнал в 24 раза и имеет два режима аускультации (для выслушивания низко- и высокочастотных звуков). Жидкокристаллический дисплей с подсветкой отображает частоту сердечных сокращений (ЧСС), режим аускультации, уровень громкости и заряд батареи. Прибор записывает данные в формате гигабайт длиной 30 с и сохраняет в виде аудиофайла. Записанные звуковые явления можно визуализировать в виде фонокардиограммы при помощи программного обеспечения StethAssist™ [23]. Цифровые стетоскопы производства 3M™ наиболее часто используются при изучении преимуществ цифровой аускультации [24]. Стетоскоп Stethee Pro™ (M3DICINE, Австралия) усиливает звуковой сигнал в 24 раза при непосредственной аускультации и в 96 раз при использовании приложения Stethee Pro™, воспринимает и анализирует звуки с частотой от 20 Гц до 2 кГц с последующим анализом с помощью ИИ AIDA™ (рис. 1, б). Данный прибор, как и предыдущий, обладает функцией визуализации звука в виде фонокардиограммы на экране принимающего устройства. Также данный стетоскоп оснащён литиевым аккумулятором с быстрой зарядкой через USB. Ещё одним преимуществом является компактность модели [25].

Самый компактный и лёгкий цифровой стетоскоп с максимальным усилением звука (в 100 раз) на рынке — прибор Thinklabs One™ (Thinklabs, США) (рис. 1, в). Он производит аускультацию в нескольких режимах и имеет функцию настройки фильтрации шума с полным ее отключением. Данный стетоскоп позволяет врачу обследовать пациента с использованием средств индивидуальной защиты, например в условиях инфекционного отделения для больных COVID-19, и интегрируется с большинством систем видеоконференцсвязи и телемедицины [12]. Стетоскоп eKuore Pro™ (eKuore, Испания) — ещё одно устройство для аускультации пациентов как в очном, так и в удалённом режиме (рис. 1, д). Аппарат анализирует данные на основе ИИ, легко интегрируется с любым программным обеспечением компьютеров и смартфонов. Особенности модели можно считать возможностью замены части, соприкасающейся с телом пациента, и передачу данных через Wi-Fi [26]. Стетоскоп StethoMe™ (StethoMe, Польша) разработан для служб ухода за больными на дому и самодиагностики пациентов с заболеваниями сердца и органов дыхания, в частности бронхиальной астмой (рис. 1, е). Этот стетоскоп диагностирует наличие патологических дыхательных шумов при помощи ИИ StethoMe AI™ и автоматически передаёт данные врачу, что позволяет удалённо отслеживать динамику заболевания у пациента. Отличительной особенностью данного стетоскопа является возможность измерять температуру тела [27]. Система для диагностики заболеваний сердца CADence™ (AUM Cardiovascular, США) представляет собой комбинацию стетоскопа и электрокардиографа: прибор оснащён встроенными датчиками для записи электрокардиограммы (ЭКГ) (рис. 1, ф). Данная система работает с приложением CADence Software™ для поддержки принятия клинических решений, обеспечивающим помощь клиницисту в анализе аускультативных явлений в сочетании с результатами ЭКГ. Сбор данных занимает около 8 мин, после чего в течение 12 мин прибор автоматически отправляет отчет на указанный электронный адрес [28]. Прибор Ekoscope™ (Ekoscope, США) представляет собой ещё один многофункциональный медицинский инструмент, позволяющий одновременно осуществлять аускультацию сердца и запись ЭКГ в шести отведениях (рис. 1, г). Он оснащён портом microUSB для зарядки аккумулятора и передачи данных [29]. Стетоскоп Lung Passport™ (Healthy Networks, Беларусь) предназначен для диагностики заболеваний дыхательной системы в домашних условиях (рис. 1, h). Прибор оснащён мобильным приложением, которое с использованием алгоритмов ИИ анализирует полученные записи звуков, затем сопоставляет их со звуками, характерными для пневмонии, хронической обструктивной болезни лёгких, бронхиальной астмы и нескольких видов бронхита, после чего выдаёт предварительный диагноз. Для повышения точности диагностики приложение включает опросник для пациента [30]. Отечественный стетоскоп Laeneco™ (Laeneco,

Россия) предназначен как для самодиагностики, так и для удалённой диагностики врачом по аудиозаписи (рис. 1, i). Анализ данных с помощью ИИ занимает 2 мин, по истечении которых аппарат даёт заключение о наличии или отсутствии патологических шумов без постановки диагноза [31]. Сравнительная характеристика различных моделей цифровых стетоскопов представлена в табл. 2.

Таким образом, описанные устройства имеют различный функционал. Некоторые из них можно применять для самодиагностики пациента, другие предназначены только для использования врачом. Обращают на себя внимание дополнительные функции стетоскопов: возможность записи ЭКГ, визуализации звуковых явлений, измерения температуры тела. Безусловно, существенным ограничением ряда цифровых стетоскопов является их «специализация» на аускультации только лёгких или сердца. Ещё одним ограничением для внедрения цифровых стетоскопов в широкую практику является относительная дороговизна устройств и их сменных элементов, а также сложность ремонта в связи с его высокой стоимостью и низкой географической плотностью сервисных центров. Тем не менее, бурное развитие систем принятия врачебных решений и алгоритмов ИИ, а также потребность в разработке и совершенствовании технологий для удалённого мониторинга и телемедицины делают эти устройства перспективным сегментом производства и рынка медицинских изделий.

За последние несколько десятилетий развитие ИИ кардинально изменило основные сферы повседневной жизни, включая здравоохранение. Доказано, что цифровизация здравоохранения повышает качество оказания медицинской помощи, улучшает приверженность к терапии и позволяет на ранней стадии выявлять заболевание или его обострение [32]. Использование цифрового стетоскопа позволяет записывать и сохранять результаты аускультации, что преодолевает субъективизм в интерпретации данных. Анализ рынка показывает, что всё большее количество медицинских изделий ориентированы на пациента, обеспечивая самодиагностику в домашних условиях. Цифровые стетоскопы не стали исключением: домашний цифровой стетоскоп с функцией диагностики на основе алгоритма ИИ представляет собой рыночную нишу. Кроме того, применение подобных аппаратов пациентами в амбулаторных условиях позволит разгрузить первичное звено здравоохранения. Так, по данным предварительной оценки применение устройства Lung Passport снизит обращаемость к врачу на 35% [7]. Возможность дистанционного мониторинга пациента и его обследования с использованием средств индивидуальной защиты способствует снижению контакта между пациентом и медицинским работником, делая процесс обследования максимально комфортным для обеих сторон. Применение аккумуляторов с быстрой зарядкой и высокой ёмкостью, а также внедрение дополнительных функций (ЭКГ, термометрии) способны повысить конкурентные преимущества изделий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение функционала и универсальности цифрового стетоскопа (возможность анализировать звуки сердца, лёгких, кишечника и других органов), а также улучшение шумоподавления и фильтрации полученного звука позволят сделать цифровые стетоскопы ещё более привлекательными для использования. По мере решения этих задач цифровой стетоскоп определённо станет незаменимым инструментом в диагностике, мониторинге и лечении заболеваний, а также самоконтроле пациентов. Перспективным направлением использования современных моделей цифровых стетоскопов представляется телемониторинг пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Особенно важной представляется оценка аускультативной картины пациентов в динамике, при длительном наблюдении, что может способствовать раннему выявлению осложнений и декомпенсаций различных хронических неинфекционных заболеваний, например хронической обструктивной болезни лёгких, бронхиальной астмы, инфаркта миокарда и т.д.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении поисково-аналитической работы.

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

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.А. Гаранин — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи, окончательное

утверждение версии для публикации; О.Ю. Айдумова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, подготовка и написание текста статьи; А.О. Рубаненко — сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; Е.Г. Бибикова — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, написание текста статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. A.A. Garanin — literature review, collection and analysis of literary sources, writing the text and editing the article, final approval for publication; O.Yu. Aydumova — literature review, collection and analysis of literary sources, preparation and writing the text of the article; A.O. Rubanenko — collection and analysis of literary sources, writing and of the text and editing the article; E.G. Bibikova — literature review, collection and analysis of literary sources and writing the text of the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Swarup S., Mararyus A.N. Digital stethoscope: technology update // *Med Devices (Auckl)*. 2018. Vol. 11. P. 29–36. doi: 10.2147/MDER.S135882
2. Landge K., Kidambi B.R., Singal A., Basha A. Electronic stethoscopes: brief review of clinical utility, evidence, and future implications // *Journal of the Practice of Cardiovascular Sciences*. 2018. Vol. 4, N 2. P. 65–68. doi: 10.4103/jpcs.jpcs_47_18
3. Grenier M.-C., Gagnon K., Genest J., et al. Clinical comparison of acoustic and electronic stethoscopes and design of a new electronic stethoscope // *Am J Cardiol*. 1998. Vol. 81, N 5. P. 653–656. doi: 10.1016/s0002-9149(97)00977-6
4. Nussbaumer M., Agarwal A. Stethoscope acoustics // *J Sound Vib*. 2022. Vol. 539. P. 1171–1194. doi: 10.1016/j.jsv.2022.117194
5. Tavel M.E. Cardiac auscultation: a glorious past — and it does have a future! // *Circulation*. 2006. Vol. 113, N 9. P. 1255–1259. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.591149
6. Nowak L.J., Nowak K.M. Sound differences between electronic and acoustic stethoscopes // *Biomed Eng Online*. 2018. Vol. 17, N 1. ID 104. doi: 10.1186/s12938-018-0540-2
7. Кудрявцева Е.С., Ахметзянова Н.М. Электронный стетоскоп: новый гаджет для диагностики и самодиагностики // *Архитектура здоровья*. 2020. № 1. С. 44–49. EDN: GUSAON
8. Leng S., Tan R.S., Chai K.T., et al. The electronic stethoscope // *Biomed Eng Online*. 2015. Vol. 14, N 1. ID 66. doi: 10.1186/s12938-015-0056-y
9. Grundlehner B., Buxi D. Methods to characterize sensors for capturing body sounds. In: *International conference on body sensor networks (BSN)*; 2011 May 23–25; Dallas, TX, USA. doi: 10.1109/BSN.2011.22
10. Kevin T.C.C., Han D., Ravinder P.S., et al. 118-db dynamic range, continuous-time, opened-loop capacitance to voltage converter readout for capacitive MEMS accelerometer. In: *IEEE Asian Solid-State Circuits Conference*; 2010 Nov 08–10; Beijing, China. doi: 10.1109/ASSCC.2010.5716626
11. Cain P.A., Ahron W.A., Greenburg D. An Assessment of acoustic and electronic stethoscope performance in the UH-60 noise environment. U.S. Army Aeromedical Research Laboratory, Aircrew Protection Division; 2002 Aug. Report No.: 2002–20. Program element No.: 622787, project No.: 878.
12. Thinklabs One [Internet]. [дата обращения: 20.05.2024]. Доступ по ссылке: <https://www.thinklabs.com/stethoscopes>
13. The 3M Littmann CORE Digital Stethoscope [Internet]. [дата обращения 20.05.2024]. Доступ по ссылке: https://www.littmann.com/3M/en_US/littmann-stethoscopes/advantages/core-digital-stethoscope/
14. Silverman B., Balk M. Digital stethoscope — improved auscultation at the bedside // *Am J Cardiol*. 2019. Vol. 123, N 6. P. 984–985. doi: 10.1016/j.amjcard.2018.12.022
15. Azimpour F., Caldwell E., Tawfik P., et al. Audible coronary artery stenosis // *Am J Med*. 2016. Vol. 129, N 5. P. 515–521. doi: 10.1016/j.amjmed.2016.01.015
16. Thomas J.L., Winther S., Wilson R.F., Böttcher M. A novel approach to diagnosing coronary artery disease: acoustic detection of coronary turbulence // *Int J Cardiovasc Imaging*. 2017. Vol. 33, N 1. P. 129–136. doi: 10.1007/s10554-016-0970-5
17. Jain A., Sahu R., Gaumnitz T., et al. Development and validation of a low-cost electronic stethoscope: DIY digital stethoscope // *BMJ Innovations*. 2021. Vol. 7. P. 609–613. doi: 10.1136/bmjinnov-2021-000715

18. Takashina T., Shimizu M., Muratake T., Mayuzumi S. New stethoscope with extensible diaphragm // *Circ J*. 2016. Vol. 80, N 9. P. 2047–2049. doi: 10.1253/circj.CJ-16-0193
19. Legget M.E., Toh M., Meintjes A., et al. Digital devices for teaching cardiac auscultation — A randomized pilot study // *Med Educ Online*. 2018. Vol. 23, N 1. ID 1524688. doi: 10.1080/10872981.2018.1524688
20. Gurung A., Scafford C.G., Tielsch J.M., et al. Computerized lung sound analysis as diagnostic aid for the detection of abnormal lung sounds: a systematic review and meta-analysis // *Respir Med*. 2011. Vol. 105, N 9. P. 1396–1403. doi: 10.1016/j.rmed.2011.05.007
21. Kaddoura T., Vadlamudi K., Kumar S., et al. Acoustic diagnosis of pulmonary hypertension: automated speed-recognition-inspired classification algorithm outperforms physicians // *Sci Rep*. 2016. Vol. 6. ID 33182. doi: 10.1038/srep33182
22. Seah J.J., Zhao J., Wang D.Y., Lee H.P. Review on the advancements of stethoscope types in chest auscultation // *Diagnostics*. 2023. Vol. 13, N 9. ID 1545. doi: 10.3390/diagnostics13091545
23. Stetoskopy.ru [Internet]. [дата обращения 14.04.2024]. Режим досупа: http://stetoskopy.ru/shop/3m-littmann/3200_BK_27.html/
24. Mamorita N., Arisaka N., Isonaka R., et al. Development of Smartphone App for visualizing heart sounds and murmurs // *Cardiology*. 2017. Vol. 137, N 3. P. 193–200. doi: 10.1159/000466683
25. Stethee Pro [Internet]. [дата обращения: 20.05.2024]. Режим досупа: https://m3dicine.com/#deeper_level
26. Деалмед [Internet]. [дата обращения: 20.05.2024]. Режим досупа: https://www.deal-med.ru/stetoskop_elektronniy_ekuore_pro.html
27. StethoMe [Internet]. [дата обращения: 20.05.2024]. Режим досупа: <https://www.stethome.com/en-gb/>
28. EverCare [Internet]. [дата обращения: 20.05.2024]. Режим досупа: <https://evercare.ru/cadence>
29. Ekoscope [Internet]. [дата обращения: 20.05.2024]. Режим досупа: <https://ekoscope.com/ekoscope>
30. LungPass [Internet]. [дата обращения: 20.05.2024]. Режим досупа: <https://cetez.ru/lungpass/>
31. Laeneco - Smart stethoscope [Internet]. [дата обращения: 20.05.2024]. Режим досупа: <https://laenecocom.tmweb.ru/>
32. Honkoop P., Usmani O., Bonini M. The current and future role of technology in respiratory care // *Pulm Ther*. 2022. Vol. 8, N 2. P. 167–179. doi: 10.1007/s41030-022-00191-y

REFERENCES

1. Swarup S, Mararyus AN. Digital stethoscope: technology update. *Med Devices (Auckl)*. 2018;11:29–36. doi: 10.2147/MDER.S135882
2. Landge K, Kidambi BR, Singal A, Basha A. Electronic stethoscopes: brief review of clinical utility, evidence, and future implications. *Journal of the Practice of Cardiovascular Sciences*. 2018;4(2):65–68. doi: 10.4103/jpcs.jpcs_47_18
3. Grenier M-C, Gagnon K, Genest J, et al. Clinical comparison of acoustic and electronic stethoscopes and design of a new electronic stethoscope. *Am J Cardiol*. 1998;81(5):653–656. doi: 10.1016/s0002-9149(97)00977-6
4. Nussbaumer M, Agarwal A. Stethoscope acoustics. *J Sound Vib*. 2022;539:1171–1194. doi: 10.1016/j.jsv.2022.117194
5. Tavel ME. Cardiac auscultation: a glorious past — and it does have a future! *Circulation*. 2006;113(9):1255–1259. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.591149.
6. Nowak LJ, Nowak KM. Sound differences between electronic and acoustic stethoscopes. *Biomed Eng Online*. 2018;17(1):104. doi: 10.1186/s12938-018-0540-2
7. Kudryavtseva ES, Akhmetzyanova NM. Electronic stethoscope: new gadget for diagnostics and self-diagnostics. *Arkhitektura zdorov'ya*. 2020(1):44–49. (In Russ.) EDN: GUSAON
8. Leng S, Tan RS., Chai KT, et al. The electronic stethoscope. *Biomed Eng Online*. 2015;14(1):66. doi: 10.1186/s12938-015-0056-y
9. Grundlehner B, Buxi D. Methods to characterize sensors for capturing body sounds. In: *International Conference on Body Sensor Networks (BSN)*; 2011 May 23–25; Dallas, TX, USA. doi: 10.1109/BSN.2011.22
10. Kevin TCC, Han D, Ravinder PS, et al. 118-db dynamic range, continuous-time, opened-loop capacitance to voltage converter readout for capacitive MEMS accelerometer. In: *IEEE Asian Solid-State Circuits Conference*; 2010 Nov 08–10; Beijing, China. doi: 10.1109/ASSCC.2010.5716626

11. Cain PA, Ahroon WA, Greenburg D. An Assessment of acoustic and electronic stethoscope performance in the UH-60 noise environment. U.S. Army Aeromedical Research Laboratory, Aircrew Protection Division; 2002 Aug. Report No.: 2002–20. Program element No.: 622787, project No.: 878.
12. Thinklabs One [Internet]. [cited 20 May 2024]. Available from: <https://www.thinklabs.com/stethoscopes>
13. The 3M Littmann CORE Digital Stethoscope [Internet]. [cited 20 May 2024]. Available from: https://www.littmann.com/3M/en_US/littmann-stethoscopes/advantages/core-digital-stethoscope/
14. Silverman B, Balk M. Digital stethoscope — improved auscultation at the bedside. *Am J Cardiol.* 2019;123(6):984–985. doi: 10.1016/j.amjcard.2018.12.022
15. Azimpour F, Caldwell E, Tawfik P, et al. Audible coronary artery stenosis. *Am J Med.* 2016;129(5):515–521. doi: 10.1016/j.amjmed.2016.01.015
16. Thomas JL, Winther S, Wilson RF, Böttcher M. A novel approach to diagnosing coronary artery disease: acoustic detection of coronary turbulence. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2017;33(1):129–136. doi: 10.1007/s10554-016-0970-5
17. Jain A, Sahu R, Gaumnitz T, et al. Development and validation of a low-cost electronic stethoscope: DIY digital stethoscope. *BMJ Innovations.* 2021;7:609–613. doi: 10.1136/bmjinnov-2021-000715
18. Takashina T, Shimizu M, Muratake T, Mayuzumi S. New stethoscope with extensible diaphragm. *Circ J.* 2016;80(9):2047–2049. doi: 10.1253/circj.CJ-16-0193
19. Legget ME, Toh M, Meintjes A, et al. Digital devices for teaching cardiac auscultation — A randomized pilot study. *Med Educ Online.* 2018;23(1):1524688. doi: 10.1080/10872981.2018.1524688
20. Gurung A, Scafford CG, Tielsch JM, et al. Computerized lung sound analysis as diagnostic aid for the detection of abnormal lung sounds: a systematic review and meta-analysis. *Respir Med.* 2011;105(9):1396–1403. doi: 10.1016/j.rmed.2011.05.007
21. Kaddoura T, Vadlamudi K, Kumar S, et al. Acoustic diagnosis of pulmonary hypertension: automated speed-recognition-inspired classification algorithm outperforms physicians. *Sci Rep.* 2016;6:331382. doi: 10.1038/srep33182
22. Seah JJ., Zhao J. Wang DY, Lee HP. Review on the advancements of stethoscope types in chest auscultation. *Diagnostics.* 2023;13(9):1545. doi: 10.3390/diagnostics13091545
23. Stetoskopy.ru [Internet]. [cited 14 April 2024]. Available from: http://stetoskopy.ru/shop/3m-littmann/3200_BK_27.html/
24. Mamorita N, Arisaka N, Isonaka R, et al. Development of Smartphone App for visualizing heart sounds and murmurs. *Cardiology.* 2017;137(3):193–200. doi: 10.1159/000466683
25. Stethee Pro [Internet]. [cited 20 May 2024]. Available from: https://m3dicine.com/#deeper_level
26. Dealmed [Internet]. [cited 20 May 2024]. Available from: https://www.deal-med.ru/stetoskop_elektronniy_ekuore_pro.html
27. StethoMe [Internet]. [cited 20 May 2024]. Available from: <https://www.stethome.com/en-gb/>
28. EverCare [Internet]. [cited 20 May 2024]. Available from: <https://evercare.ru/cadence>
29. Ekoscope [Internet]. [cited 20 May 2024]. Available from: <https://ekoscope.com/ekoscope>
30. LungPass [Internet]. [cited 20 May 2024]. Available from: <https://cetez.ru/lungpass/>
31. Laeneco - Smart stethoscope [Internet]. [cited 20 May 2024]. Available from: <https://laenecocom.tmweb.ru/>
32. Honkoop P, Usmani O., Bonini M. The current and future role of technology in respiratory care. *Pulm Ther.* 2022;8(2):167–179. doi: 10.1007/s41030-022-00191-y

ОБ АВТОРАХ/ AUTHORS' INFO

Автор, ответственный за переписку:	
*Гаранин Андрей Александрович, канд. мед. наук; адрес: Россия, 443079, г. Самара, пр. Карла-Маркса, 165б; ORCID: 0000-0001-6665-1533; eLibrary SPIN: 9976-3085; e-mail: a.a.garanin@samsmu.ru	*Andrey A. Garanin, MD, Cand. Sci. (Medicine); address: 165b Karl-Marx avenue, Samara, 443079, Russia; ORCID: 0000-0001-6665-1533; eLibrary SPIN: 9976-3085; e-mail: a.a.garanin@samsmu.ru
Соавторы:	
Айдумова Олеся Юрьевна; адрес: Россия, 443079, г. Самара, пр. Карла-Маркса, 165б; ORCID: 0000-0001-5673-7958;	Olesya Yu. Aydumova; address: 165b Karl-Marx avenue, Samara, 443079, Russia; ORCID: 0000-0001-5673-7958;

Научные обзоры | Reviews
Digital Diagnostics

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD632499>

eLibrary SPIN: 6330-2186; e-mail: o.yu.ajdumova@samsmu.ru	eLibrary SPIN: 6330-2186; e-mail: o.yu.ajdumova@samsmu.ru
Рубаненко Анатолий Олегович; адрес: Россия, 443099, г. Самара, ул. Чапаевская, 89; ORCID: 0000-0002-3996-4689; eLibrary SPIN: 6947-1028 e-mail: a.o.rubanenko@samsmu.ru	Anatoly O. Rubanenko; address: 89 Chapaevskaya st., Samara, 443099, Russia; ORCID: 0000-0002-3996-4689; eLibrary SPIN: 6947-1028; e-mail: a.o.rubanenko@samsmu.ru
Бибикова Елена Григорьевна; адрес: Россия, 443099, г. Самара, ул. Чапаевская, 89; ORCID: 0009-0005-9392-1101; eLibrary SPIN: 1578-1620; e-mail: e.g.bibikova@samsmu.ru	Elena G. Bibikova; address: 89 Chapaevskaya st., Samara, 443099, Russia; ORCID: 0009-0005-9392-1101; eLibrary SPIN: 1578-1620; e-mail: e.g.bibikova@samsmu.ru

Accepted for publication

ТАБЛИЦЫ

Таблица 1. Сравнительная характеристика традиционного и электронного стетоскопов

Признак	Традиционный стетоскоп	Электронный стетоскоп
Усиление звука	Нет	Да
Шумоподавление	Нет	Да
Универсальность для аускультации внутренних органов	Да	Не у всех моделей
Запись и передача данных	Нет	Да
Использование алгоритмов ИИ	Нет	Да
Зависимость от источника питания	Нет	Да
Стоимость устройства и сменных частей	Низкая	Высокая

Примечание. ИИ – искусственный интеллект.

Таблица 2. Сравнительная характеристика наиболее популярных на рынке цифровых стетоскопов

Модель стетоскопа (производитель, страна)	Преимущества	Недостатки
3M™ Littmann 3200 (Littmann, США)	Регистрация ЧСС Визуализация в виде фонокардиограммы Возможность аускультации сердца и лёгких	Отсутствие анализа данных ИИ Невозможность самодиагностики пациентом Невозможность работы в СИЗ Отсутствие аккумулятора (питание от батареек AA)
Stethee Pro™ (M3DICINE, Австралия)	Регистрация ЧДД, ЧСС, продолжительности систолы и диастолы Визуализация в виде фонокардиограммы Возможность аускультации сердца и лёгких Применение ИИ для анализа данных Возможность работы в СИЗ Литиевый аккумулятор	Невозможность самодиагностики пациентом
Thinklabs One™ (Thinklabs, США)	Возможность аускультации сердца и лёгких Возможность работы в СИЗ Литиевый аккумулятор	Отсутствие анализа данных ИИ Невозможность самодиагностики пациентом
eKuore Pro™ (eKuore, Испания)	Возможность аускультации сердца и лёгких Возможность работы в СИЗ Подключение по Wi-Fi Возможность дистанционного мониторинга Литиевый аккумулятор	Отсутствие анализа данных ИИ Невозможность самодиагностики пациентом
StethoMe™ (StethoMe, Польша)	Возможность аускультации сердца и лёгких Применение ИИ для анализа данных Возможность работы в СИЗ Возможность дистанционного мониторинга Возможность самодиагностики пациентом Регистрация температуры тела Литиевый аккумулятор	Отсутствие наушников
CADence™ (CADence, США)	Регистрация ЭКГ Литиевый аккумулятор	Невозможность аускультации лёгких Невозможность самодиагностики пациентом
Ekoscope™ (Ekoscope, США)	Регистрация ЭКГ Применение ИИ для анализа данных Литиевый аккумулятор	Невозможность аускультации лёгких Невозможность самодиагностики пациентом Невозможность работы в СИЗ
Lung Passport™ (Healthy Networks, Белоруссия)	Применение ИИ для анализа данных Возможность самодиагностики пациентом Литиевый аккумулятор	Невозможность аускультации сердца
Laeneco™ (Laeneco, Россия)	Применение ИИ для анализа данных Возможность самодиагностики пациентом Литиевый аккумулятор	Невозможность аускультации сердца

Примечание. ЧСС – частота сердечных сокращений; ИИ – искусственный интеллект; СИЗ – средства индивидуальной защиты; ЧДД – частота дыхательных движений; ЭКГ – электрокардиограмма.

РИСУНКИ

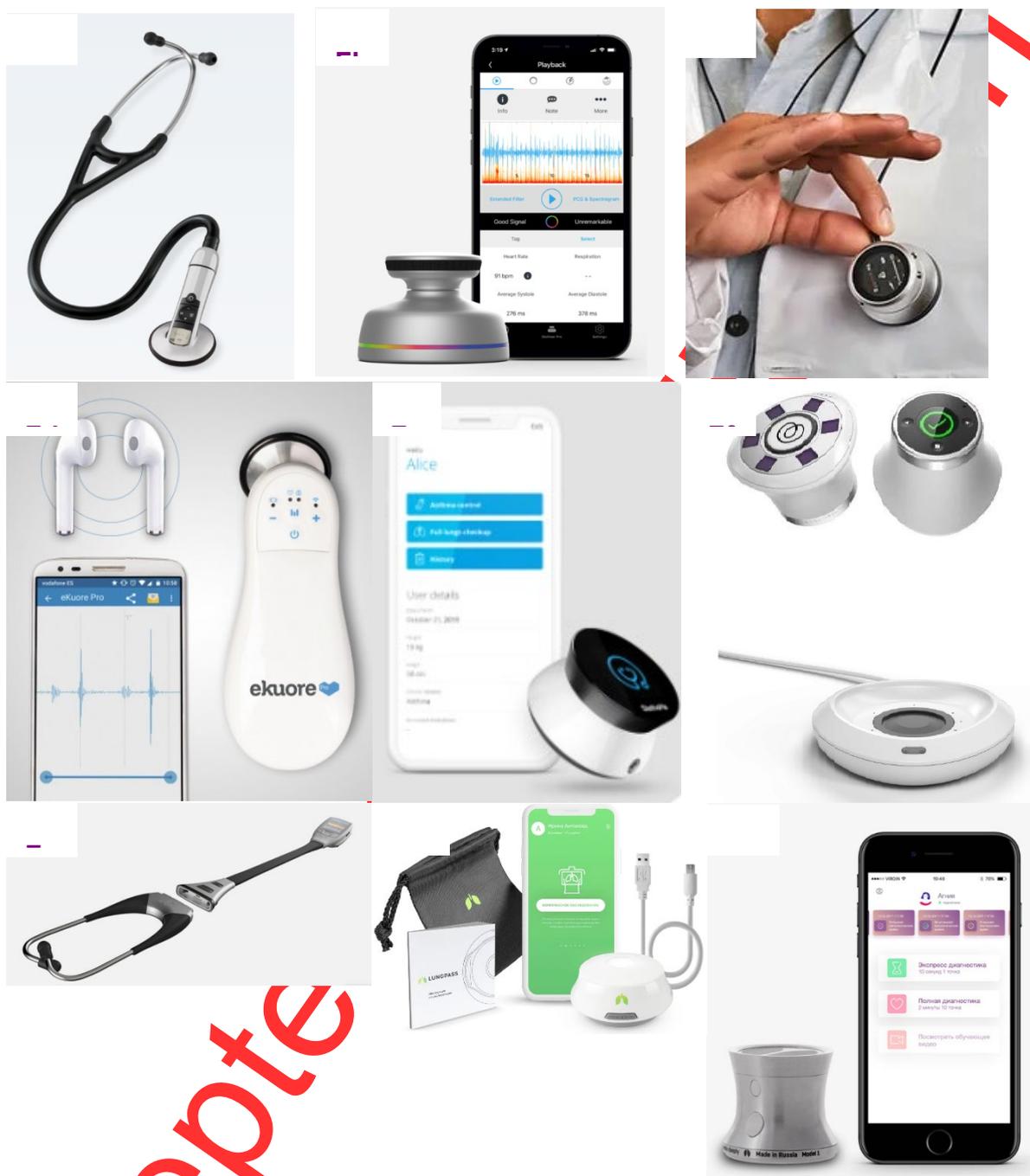


Рис. 1. Внешний вид наиболее популярных электронных стетоскопов, представленных на рынке: *a* — стетоскоп 3M™ Littmann 3200 (США) http://stetoscopy.ru/shop/3m-littmann/3200_BK_27.html; *b* — стетоскоп M3DIINE Stethoe Pro™ (Австралия) https://m3dicine.com/#deeper_level; *c* — стетоскоп Thinklabs One™ (США) <https://www.thinklabs.com/stethoscopes>; *d* — кардиологический стетоскоп eKuore Pro™ (Испания) https://www.deal-med.ru/stetoskop_elektronniy_ekuore_pro.html; *e* — стетоскоп StethoMe™ (Польша) <https://www.stethome.com/en-gb/>; *f* — датчики системы для диагностики заболеваний сердца CADence™ (США) <https://evercare.ru/cadence>; *g* — стетоскоп с возможностью записи электрокардиограммы Ekoscope™ (США) <https://ekoscope.com/ekoscope>; *h* — стетоскоп Healthy Networks Lung Passport™ (Белоруссия) <https://cetez.ru/lungpass/>; *i* — стетоскоп Laeneco™ (Россия) <https://laenecom.tmweb.ru/>.