

Регистратор респираторных звуков для компьютерного анализа паттерна дыхания у детей

Е.В. Асеева¹✉, Н.А. Геппе¹, В.С. Малышев², Д.Г. Бухаров², Л.С. Старостина¹, С.И. Шаталина¹

¹ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет); Россия, г. Москва

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»; Россия, г. Москва

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: оценить опорные/нормальные показатели дыхания у здоровых детей в возрасте от 6 до 18 лет при помощи регистратора респираторных звуков.

Дизайн: проспективное открытое нерандомизированное клиническое исследование.

Материалы и методы. Проведена оценка функции внешнего дыхания у практически здоровых детей без респираторной патологии при помощи регистратора респираторных звуков. Обследованы 165 практически здоровых детей от 6 до 18 лет. Средний возраст — 11,4 ± 1,9 года, из них 86 (52%) мальчиков и 79 (48%) девочек. Определялись показатели акустического компонента работы дыхания в низкочастотном P1 (200–1200 Гц), среднечастотном P2 (> 1200–5000 Гц) и высокочастотном P3 (> 5000 Гц) диапазонах и общая акустическая работа дыхания (P общий на вдохе и выдохе).

Результаты. При обследовании детей получены данные акустического компонента работы дыхания на вдохе для низкочастотного диапазона — 16,1 (9,8; 20,4) миллиПаскаль (мПа), среднечастотного — 5,84 (4,1; 9,4) мПа и высокочастотного — 2,26 (1,3; 2,5) мПа, на выдохе — 23,9 (16,2; 30,1), 8,35 (5,6; 12,2) и 2,57 (2,0; 3,3) мПа соответственно. При исследовании общего акустического компонента работы дыхания получены следующие значения: на вдохе P общий — 23,8 (16,5; 32,8) мПа, на выдохе — 35,6 (24,5; 47,6) мПа. Не выявлены статистически значимые половые различия и разница между детьми разного возраста (p > 0,05).

Заключение. Регистратор респираторных звуков — перспективное устройство, которое может быть использовано для диагностики различных респираторных патологий у детей всех возрастных групп.

Ключевые слова: регистратор респираторных звуков, компьютерная бронхофонография, дыхательные звуки, дети.

Для цитирования: Асеева Е.В., Геппе Н.А., Малышев В.С., Бухаров Д.Г., Старостина Л.С., Шаталина С.И. Регистратор респираторных звуков для компьютерного анализа паттерна дыхания у детей. Доктор.Ру. 2023;22(3):45–50. DOI: 10.31550/1727-2378-2023-22-3-45-50

Respiratory Sound Recorder for Computer Analysis of Breathing Patterns in Children

E.V. Aseeva¹✉, N.A. Geppe¹, V.S. Malyshev², D.G. Bukharov², L.S. Starostina¹, S.I. Shatalina¹

¹ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 19 Bolshaya Pirogovskaya Str., build. 1, Moscow, Russian Federation 119435

² National Research University "Moscow Power Engineering Institute"; 14 Krasnokazarmennaya Str., build. 1, Moscow, Russian Federation 111250

ABSTRACT

Aim: To evaluate the reference/normal breathing parameters in healthy children aged 6 to 18 years using a respiratory sound recorder.

Design: Prospective, open-label, non-randomized clinical trial.

Materials and methods. The function of external respiration was assessed in practically healthy children without respiratory pathology using a respiratory sound recorder. 165 practically healthy children from 6 to 18 years old were examined. Mean age — 11.4 ± 1.9 years, of which 86 (52%) boys and 79 (48%) girls. The indicators of the acoustic component of the work of breathing in the low-frequency P1 (200–1200 Hz), mid-frequency P2 (> 1200–5000 Hz) and high-frequency P3 (> 5000 Hz) ranges and the total acoustic work of breathing (P total on inhalation and exhalation) were determined.

Results. When examining children, data were obtained for the acoustic component of the work of breathing on inspiration for the low-frequency range — 16.1 (9.8; 20.4) milliPascal (mPa), the mid-frequency range — 5.84 (4.1; 9.4) mPa and the high-frequency range — 2.26 (1.3; 2.5) mPa, on exhalation — 23.9 (16.2; 30.1), 8.35 (5.6; 12.2) and 2.57 (2.0; 3.3) mPa, respectively. In the study of the general acoustic component of the work of breathing, the following values were obtained: on inhalation P total — 23.8 (16.5; 32.8) mPa, on exhalation — 35.6 (24.5; 47.6) mPa. There were no statistically significant gender differences and differences between children of different ages (p > 0.05).

Conclusion. The respiratory sound recorder — is a promising device that can be used to diagnose various respiratory pathologies in children of all age groups.

Keywords: respiratory sound recorder, computer bronchophonography, respiratory sounds, children.

For citation: Aseeva E.V., Geppe N.A., Malyshev V.S., Bukharov D.G., Starostina L.S., Shatalina S.I. Respiratory sound recorder for computer analysis of breathing patterns in children. Doctor.Ru. 2023;22(3):45–50. (in Russian). DOI: 10.31550/1727-2378-2023-22-3-45-50

✉ Асеева Елизавета Витальевна / Aseeva, E.V. — E-mail: liza.romantseva@yandex.ru



ВВЕДЕНИЕ

Аускультация — простой и доступный метод оценки состояния дыхательной системы, который остается одним из основных элементов клинического обследования пациентов с XIX века. С момента изобретения стетоскопа и публикации Р. Лазэннеком в 1817 году «Трактата о болезнях грудной клетки» аускультация стала незаменимой в медицинской практике [1]. В работах ученого изложены основные принципы и понятия, многие из которых, включая механизмы образования звуков и названия звуковых явлений, до сих пор используются в клинической практике.

Дыхательные звуки можно классифицировать как нормальные (везикулярное дыхание) и побочные (хрипы, крепитация, шум трения плевры). Нормальные дыхательные звуки образуются в здоровых дыхательных путях при физиологическом спокойном дыхании. Они обычно подразделяются на трахеобронхиальные и везикулярные [2].

Механизм появления звука зависит от типа воздушного потока, возникающего при движении по бронхам [3–5]. Можно выделить несколько типов дыхательных потоков: ламинарный, турбулентный и переходный. Ламинарный (рис. 1) характеризуется слоями движущегося потока воздуха, параллельными друг другу и стенкам дыхательных путей, и формируется при низких объемных скоростях. При высоких скоростях потока преобладает турбулентное движение (рис. 2).

Для определения типа воздушного потока используется числовая величина, называемая числом Рейнольдса (Re), — это безразмерная величина, которая связывает среднюю скорость потока, плотность и вязкость газа. При $Re > 2000$ поток является турбулентным, $Re < 2000$ — ламинарным, переходный поток — Re около 2000.

Переходный поток формируется в местах дихотомического разветвления трахеобронхиального дерева и является важным паттерном движения воздуха в легких (рис. 3) [4].

При везикулярном дыхании инспираторная фаза длиннее и интенсивнее экспираторной, а дыхательные шумы имеют акустически мягкий характер [5]. За развитие нормального дыхательного звука отвечает турбулентный поток в крупных и средних бронхах. По мере увеличения общего поперечного сечения бронхов по направлению к периферии легкого изме-

няется скорость потока в дистальных дыхательных путях. В периферических дыхательных путях наблюдается ламинарный поток, который продолжает уменьшаться в направлении альвеол и заканчивается диффузией. Ламинарный поток и диффузия являются процессами без шумообразования [6].

Патологические звуки возникают при сужении дыхательной трубки вследствие различных причин. Громкость, тембр и высота хрипов зависят от диаметра дыхательной трубки, скорости воздушного потока и плотности пристеночного секрета. При накоплении в просвете трахеи и бронхов крупного и среднего калибра секрета из-за воспаления и отека внутренний диаметр дыхательных путей сужается, что приводит к появлению низких сухих хрипов [7].

Паренхима легких и стенка грудной клетки действуют как фильтр низких частот, не пропуская высокочастотные звуки. Поэтому звуки, слышимые над грудной стенкой, — в основном низкочастотные. Частотный диапазон нормального дыхания — 200–1200 Гц; в зависимости от частоты дыхательные звуки классифицируются на следующие группы: низкочастотные (< 200 Гц), средне- (200–600 Гц) и высокочастотные (> 600 Гц) [6].

Введение в клиническую практику компьютерных методов оценки акустических явлений позволило расширить возможности диагностики бронхоппульмональных заболеваний у детей.

Оценка функционального состояния органов дыхания — важная задача практикующего врача-пульмонолога. На сегодняшний день сложно представить рутинное физикальное обследование без ежедневного мониторинга состояния дыхательной системы при помощи аускультации. Однако аускультация является субъективным методом оценки состояния респираторного тракта, несмотря на ее определенные преимущества. Современный стетоскоп из-за особенностей строения усиливает низкочастотные звуки и ослабляет высокочастотные, что вызывает определенные сложности у врача при диагностике [2].

Помимо аускультации легких, необходимо использование других, уже ставших рутинными, объективных методов оценки состояния дыхательной системы. Спирография с анализом показателей функции внешнего дыхания (ФВД) требуется для установления диагноза и определения степени тяжести заболевания, а также для выбора тактики лечения и контроля эффективности проводимой терапии [8]. Тем не менее при ряде хронических заболеваний органов дыхания, благодаря высоким компенсаторным возможностям детского организма, патофизиологические изменения, лежащие в основе дыхания, могут не сопровождаться изменениями ФВД.

Рис. 1. Ламинарный поток воздуха. Здесь и далее в статье иллюстрации авторов

Fig. 1. Laminar air flow. All illustrations in the paper courtesy of the authors



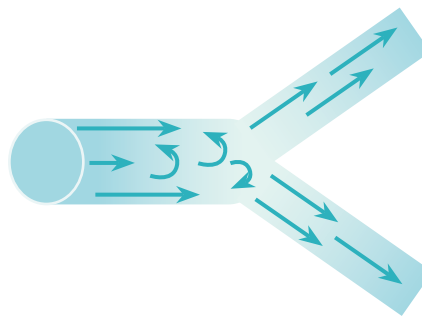
Рис. 2. Турбулентный поток воздуха

Fig. 2. Turbulent air flow



Рис. 3. Переходный поток воздуха

Fig. 3. Transient air flow



¹ The Global Strategy for Asthma Management and Prevention. Global Initiative for Asthma (GINA). 2022. URL: <http://www.ginasthma.org> (дата обращения — 15.04.2023).

Исследование ФВД у детей имеет определенные особенности: в отличие от взрослых у них продолжают расти и развиваться бронхолегочные структуры¹. Спирограмма проводится у детей с шестилетнего возраста, и в ряде случаев, особенно при обострении заболевания, возникают сложности с выполнением дыхательных маневров. У детей с бронхиальной астмой нередко определяются нормальные функциональные показатели, несмотря на повторяющиеся обострения, особенно при легком течении астмы. Кроме того, показатели ФВД могут не иметь прямой корреляции со степенью выраженности симптомов астмы².

Высокая распространенность и разнообразие заболеваний бронхолегочной системы у детей требуют развития методов изучения ФВД без использования форсированного дыхания, задержки дыхания, глубокого вдоха и мощного выдоха, которые дети не всегда могут выполнить.

Быстрое развитие технологий в последние годы повысило интерес исследователей к автоматическому компьютеризированному анализу легочных звуков [9–11]. Данный метод является одним из инструментов для оптимизации и количественной оценки параметров на основе конкретных спектральных характеристик легочных звуков. Углубленное изучение звуков привело к появлению приборов, позволяющих применять высокоточные, а также портативные варианты измерения в условиях поликлиники, стационара [1].

В 1981 году в России был разработан прибор для оценки ФВД, основной принцип работы которого — компьютерный анализ паттерна дыхания [1]. Последующие исследования акустических характеристик дыхательных шумов при бронхолегочной патологии положили начало методу компьютерной бронхофонографии (КБФГ).

Данный метод заключается в регистрации дыхательных звуков, возникающих при дыхании и изменяющихся в зависимости от наличия патологических состояний, затрагивающих верхние и нижние дыхательные пути [12]. Для фиксации акустического шумового сигнала, связанного с дыханием, используется микрофон, который размещается в ротовой полости на глубине 1,5–2 см вместе с загубником, на нос накладывается зажим.

Начало записи совпадает с началом выдоха. Для получения воспроизводимых результатов без артефактов исследование производится не менее трех раз. При проведении исследования у одного ребенка необходимо анализировать сходные по длительности дыхательные циклы с разницей не более 10%. Полученная запись отображается на экране персонального компьютера.

С помощью КБФГ оценивается интенсивность акустического компонента работы дыхания (АКРД). Метод основывается на регистрации и последующем анализе частотно-амплитудных характеристик дыхательных шумов. Сканирование респираторной волны осуществляется в частотном диапазоне от 200 до 12000 Гц. Выделяются три зоны частотного спектра: 200–1200 Гц — низкочастотный диапазон (НЧД), > 1200–5000 Гц — средние частоты (СЧД), > 5000 Гц — высокочастотный диапазон (ВЧД)³.

Компьютерно-диагностический комплекс «Паттерн-01» активно используется в клинической практике для проведения КБФГ [13–17]. Прибор применяют у детей с первых месяцев жизни с обструктивным бронхитом, бронхиальной астмой.

В настоящее время на кафедре инженерной экологии и охраны труда Московского энергетического института создан прибор по новым медико-техническим требованиям — регистратор респираторных звуков (РРЗ) (ТУ 26.60.12-001-56880266-2019), в котором использован принцип работы «Паттерн-01», но имеется ряд преимуществ.

Особенности конструкции РРЗ — малый размер и вес до 1 кг, что позволяет использовать прибор у постели пациента. Отличительная особенность РРЗ — возможность аудиозаписи дыхания. Врач может прослушать аудиозаписи регистрации паттерна дыхания пациента, которые сохраняются в архиве, что позволяет сравнить полученные результаты у одного больного до и после проведенной терапии [12]. Можно также соотносить акустические изменения с изменениями АКРД.

В РРЗ реализована функция визуализации спектральных характеристик в режиме реального времени (рис. 4), что позволяет проводить экспресс-обследования (скрининг) (рис. 5, б). Для оценки характеристик вдоха и выдоха в отдельности разработана процедура разметки во времени (рис. 7). Появилась возможность анализировать динамические спектры звукового давления — разность между статическим атмосферным давлением и давлением в данной точке звукового поля в единицах Па (Паскаль), временные, звуковые и мощностные характеристики вдоха и выдоха в отдельности, отношения мощности в частотных диапазонах, отношения максимальных значений к средним для исследований спектральной неравномерности.

В 2022 году на базе педиатрического отделения Сеченовского центра материнства и детства Сеченовского Университета (Университетская детская клиническая больница)

Рис. 4. Акустический портрет респираторного цикла (общий вид)

Fig. 4. Acoustic pattern of the respiratory cycle (general view)

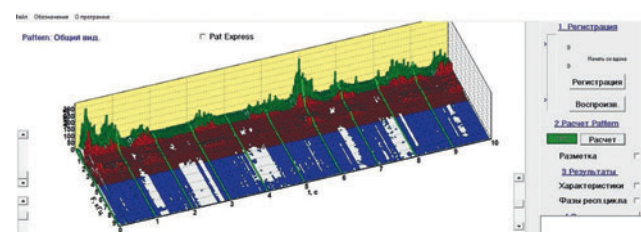
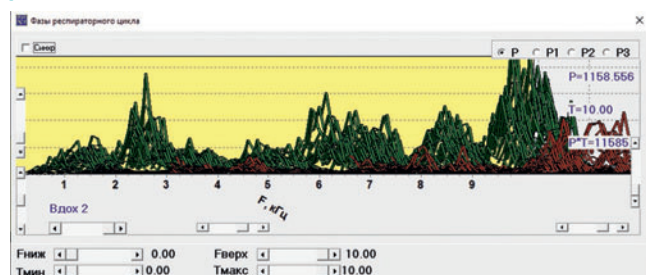


Рис. 5. 3D-модель акустического компонента работы дыхания во всех частотных диапазонах

Fig. 5. 3D model of an acoustic component of the work of breathing in all frequency ranges



² Бронхиальная астма. Клинические рекомендации. 2021. URL: Бронхиальная астма (2021) (spulmo.ru) (дата обращения — 15.04.2023).

³ Малышев В.С., Ардашников С.Н., Каганов С.Ю., Манюков М.Ф. и др. Способ регистрации дыхательных шумов. Патент РФ № 5062396. Бюлл. изобрет. 1995; № 18.

Рис. 6. 3D-модель акустического компонента работы дыхания в низкочастотном (А), среднечастотном (В), высокочастотном (С) диапазонах

Fig. 6. 3D model of an acoustic component of the work of breathing in the low-frequency (A), mid-frequency (B), and high-frequency (C) ranges

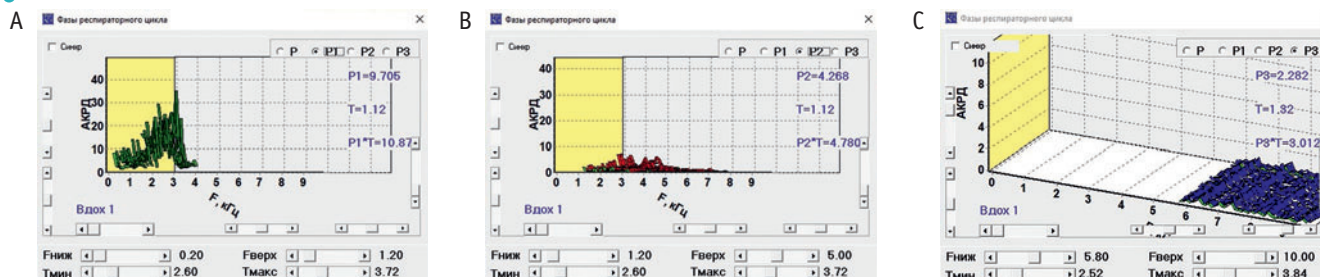


Рис. 7. Разметка фаз респираторного цикла

Fig. 7. Respiratory cycle phases



проведено исследование по определению ФВД с помощью РРЗ у детей без респираторной патологии.

Цель данного исследования — оценить опорные/нормальные показатели дыхания у здоровых детей в возрасте от 6 до 18 лет при помощи РРЗ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В педиатрическом отделении Сеченовского центра материнства и детства Сеченовского Университета (Университетская детская клиническая больница) обследованы 165 практически здоровых детей от 6 до 18 лет: 70 детей 6–11 лет и 95 детей старше 12 лет. Средний возраст — $11,4 \pm 1,9$ года, из них 86 (52%) мальчиков и 79 (48%) девочек.

Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет) (протокол № 22-21 от 09.12.2021 г.). Законными представителями несовершеннолетних в возрасте до 15 лет и несовершеннолетними участниками исследования в возрасте 15 лет и старше подписано добровольное информированное согласие на участие.

ФВД определяли с помощью РРЗ (МЭИ, Россия, 2021 г.). Регистрация дыхательных шумов у пациента производится в положении сидя при спокойном дыхании в течение 10 секунд. Если ребенок тревожный, беспокойный, то регистрация может проводиться, когда он сидит на коленях у родителей. Для достижения трех воспроизводимых результатов процедура повторяется несколько раз.

При КБФГ оцениваются показатели АКРД в НЧД Р1 (200–1200 Гц), СЧД Р2 (> 1200–5000 Гц) и ВЧД Р3 (> 5000 Гц) и общая акустическая работа дыхания (Р общий на вдохе и выдохе).

Статистическая обработка данных выполнялась на индивидуальном компьютере с помощью электронных таблиц Microsoft Excel и пакета статистических программ Statistica V10, StatSoft Inc. (США), SAS V8 (США) и SPSS Statistics V17 (США). Числовые параметры, имеющие нормальное распределение, представлены в формате $M \pm SD$, где M — среднее значение, SD — стандартное отклонение среднего значения. Параметры, имеющие распределение, отличное от нормального, приведены в формате $Me (Q25\%; Q75\%)$, где Me — медиана, а $Q25\%$ и $Q75\%$ — верхний и нижний квартили.

Для сравнения числовых данных (после проверки количественных данных на нормальное распределение) использовали t -критерий Стьюдента для двух независимых выборок. Для сравнения непараметрических данных применяли критерий Манна — Уитни (для двух групп) для несвязанных совокупностей. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимался равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При обследовании 165 детей получены следующие данные АКРД. На вдохе для НЧД показатель составил 16,1 (9,8; 20,4) мПа, СЧД — 5,84 (4,1; 9,4) мПа и ВЧД — 2,26 (1,3; 2,5) мПа, на выдохе — 23,9 (16,2; 30,1), 8,35 (5,6; 12,2) и 2,57 (2,0; 3,3) мПа соответственно. При исследовании общей АКРД (Р общий) получены следующие значения: на вдохе Р общий — 23,8 (16,5; 32,8) мПа, на выдохе — 35,6 (24,5; 47,6) мПа.

Не выявлены статистически значимые половые различия и разница между детьми разного возраста (табл. 1, 2).

В паттерне у детей без респираторных нарушений преобладали осцилляции в НЧД и СЧД. Лишь у немногих детей определялись слабо выраженные осцилляции в ВЧД.

Таблица 1 / Table 1

Опорные показатели акустического компонента работы дыхания у детей разных возрастных групп, мПа
Reference parameters of an acoustic component of the work of breathing in children from various age groups, mPa

Фаза респираторного цикла	Частотный диапазон	Дети старше 6 лет	Дети старше 12 лет
Общий	P1	19,2 (14,5; 24,0)	18,4 (15,9; 25,3)
	P2	6,1 (5,1; 11,8)	7,2 (5,4; 10,2)
	P3	2,3 (1,6; 2,4)	2,8 (1,7; 2,9)

Таблица 2 / Table 2

Опорные показатели акустического компонента работы дыхания у мальчиков и девочек, мПа

Reference parameters of an acoustic component of the work of breathing in boys and girls, mPa

Фаза респираторного цикла	Частотный диапазон	Мальчики	Девочки
Общий	P1	20,3 (16,7; 26,1)	15,3 (15,9; 21,0)
	P2	7,65 (5,4; 11,7)	5,3 (4,8; 7,4)
	P3	2,11 (1,6; 2,8)	2,6 (2,2; 3,1)

Увеличение показателей в ВЧД может свидетельствовать о появлении дыхательных шумов из-за отека, воспаления, скопления секрета по ходу респираторного тракта, возникающих при различной респираторной патологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За 200 лет от момента создания стетоскопа до века компьютерных технологий произошел огромный прорыв в диагностике заболеваний легких.

Звуки, возникающие при дыхании, обладают различными акустическими свойствами, анализ которых может дать необхо-

димую информацию для верификации диагноза, оценки тяжести состояния пациента и прогнозирования течения заболевания.

Анализ опорных показателей у детей без дыхательных нарушений является неотъемлемой частью изучения физиологии дыхания и выделения диагностических критериев при возникновении патологических процессов на различных уровнях респираторного тракта. Данные показатели имеют большое значение для оценки состояния дыхательной системы у детей.

Различия АКРД в разных диапазонах объясняются тем, что в основе бронхофонографии лежит анализ временных и частотных характеристик дыхательного спектра. Дыхательные шумы, возникающие при изменении диаметра воздухоносных путей, ригидности стенок бронхов в сочетании с бифуркациями бронхиального дерева, приводят к образованию турбулентных воздушных потоков и, как следствие, акустических феноменов, регистрируемых при сканировании акта дыхания.

Учитывая чувствительность микрофонов, врач может оценить аускультативные феномены, такие как дыхательные шумы, хрипы, крепитация, в частотных диапазонах, которые невозможно услышать при помощи стетоскопа.

Благодаря возможности записи звука паттерны дыхания пациентов могут быть сохранены и архивированы, что позволяет не только оценить звуковые характеристики в момент регистрации, но и сравнить записи до и после проведенной терапии, а также расширить образовательные возможности студентов, ординаторов, аспирантов и врачей по пульмонологии.

Технология регистрации звука может быть использована для мониторинга эффективности лечебно-профилактических мероприятий у детей.

Вклад авторов / Contributions

Все авторы внесли существенный вклад в подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Вклад каждого из авторов: Асеева Е.В. — обзор публикаций по теме статьи, сбор клинического материала, обработка, анализ и интерпретация данных, статистическая обработка данных, написание текста рукописи; Геппе Н.А. — разработка дизайна исследования, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи, проверка критически важного содержания, утверждение рукописи для публикации; Малышев В.С. — разработка дизайна исследования, компьютерное и математическое моделирование, математическая и статистическая обработка данных; Бухаров Д.Г. — компьютерное и математическое моделирование, математическая и статистическая обработка данных; Старостина Л.С. — разработка дизайна исследования, обработка, анализ и интерпретация данных, статистическая обработка данных, написание текста рукописи; Шаталова С.И. — обзор публикаций по теме статьи, обработка, анализ и интерпретация данных, написание текста рукописи.

All authors made a significant contribution to the preparation of the article, read and approved the final version before publication. Special contribution: Aseeva, E.V. — review of publications on the topic of the article, collection of clinical material, processing, analysis and interpretation of data, statistical processing of data, writing the text of the manuscript; Geppe, N.A. — study design development, data analysis and interpretation, writing the text of the manuscript, checking critical content, approval of the manuscript for publication; Malyshev, V.S. — research design development, computer and mathematical modeling, mathematical and statistical data processing; Bukharov, D.G. — computer and mathematical modeling, mathematical and statistical data processing; Starostina, L.S. — study design development, data processing, analysis and interpretation, statistical data processing, writing the text of the manuscript; Shatalina, S.I. — review of publications on the topic of the article, processing, analysis and interpretation of data, writing the text of the manuscript.

Конфликт интересов / Disclosure

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

The authors declare no conflict of interests.

Этическое утверждение / Ethics approval

Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом ФГАУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет) (протокол № 22-21 от 09.12.2021 г.). Законными представителями несовершеннолетних в возрасте до 15 лет и несовершеннолетними участниками исследования в возрасте 15 лет и старше подписано добровольное информированное согласие на участие.

The study protocol was approved by the Local Ethics Committee at I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Minutes No. 22-21 dated 09 December 2021). Legal representatives of children below 15 years of age and minor participants aged 15 years old and over signed the Informed Consent Form.

Об авторах / About the authors

Асеева Елизавета Витальевна / Aseeva, E.V. — аспирант кафедры детских болезней Клинического института детского здоровья имени Н.Ф. Филатова ФГАУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). 119435, Россия, г. Москва, ул. Большая Пироговская, д. 19, стр. 1. <http://orcid.org/0000-0001-7140-6874>. E-mail: liza.romantseva@yandex.ru

Геппе Наталья Анатольевна / Geppe, N.A. — д. м. н., профессор, заведующая кафедрой детских болезней Клинического института детского здоровья имени Н.Ф. Филатова ФГАУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). 119435,

Россия, г. Москва, ул. Большая Пироговская, д. 19, стр. 1. eLIBRARY.RU SPIN: 9916-0204. <http://orcid.org/0000-0003-0547-3686>. E-mail: gerpe@mail.ru

Малышев Владимир Серафимович / Malyshev, V.S. — д. б. н., к. т. н., профессор кафедры инженерной экологии и охраны труда ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ». 111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1. eLIBRARY.RU SPIN: 9418-7193. E-mail: MalyshevVS@mpei.ru

Бухаров Дмитрий Гермагенович / Bukharov, D.G. — к. т. н., ведущий инженер кафедры инженерной экологии и охраны труда ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ». 111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1. E-mail: bukharovdg@yandex.ru

Старостина Лада Сергеевна / Starostina, L.S. — к. м. н., доцент кафедры детских болезней Клинического института детского здоровья имени Н.Ф. Филатова Университетской детской клинической больницы ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). 119435, Россия, г. Москва, ул. Большая Пироговская, д. 19, стр. 1. eLIBRARY.RU SPIN: 6977-0200. <http://orcid.org/0000-0002-4320-0454>. E-mail: starostina-ls@yandex.ru

Шаталина Светлана Игоревна / Shatalina, S.I. — к. м. н., ассистент кафедры детских болезней Клинического института детского здоровья имени Н.Ф. Филатова ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). 119435, Россия, г. Москва, ул. Большая Пироговская, д. 19, стр. 1. eLIBRARY.RU SPIN: 7308-2768. <https://orcid.org/0000-0003-2085-0021>. E-mail: svetlanashatalina@mail.ru

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Генне Н.А., Малышев В.С., ред. Компьютерная бронхография респираторного цикла. М.: Медиа Сфера; 2016. 108 с. Gerpe N.A., Malyshev V.S., eds. Computer bronchophonography of the respiratory cycle. M.: Mediasphera; 2016. 108 p. (in Russian)
2. Henry B., Royston T.J. Localization of adventitious respiratory sounds. *J. Acoust. Soc. Am.* 2018;143(3):1297. DOI: 10.1121/1.5025842
3. Rao A., Huynh E., Royston T.J., Kornblith A. et al. Acoustic methods for pulmonary diagnosis. *IEEE Rev. Biomed. Eng.* 2019;12:221–39. DOI: 10.1109/RBME.2018.2874353
4. Pasterkamp H. The highs and lows of wheezing: a review of the most popular adventitious lung sound. *Pediatr. Pulmonol.* 2018;53(2):243–54. DOI: 10.1002/ppul.23930
5. Арутюнов Г.П., Колесникова Е.А., Поляков Д.В., Рылова А.К. и др. Аускультация легких: патогенетические основы формирования дыхательных шумов. Пульмонология. 2022;32(1):118–26. Arutyunov G.P., Kolesnikova E.A., Polyakov D.V., Rylova A.K. et al. Lung auscultation: pathogenic mechanisms underlying the respiratory sounds. *Pulmonologiya.* 2022;32(1):118–26. (in Russian). DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-1-118-126
6. Koehler U., Hildebrandt O., Kerzel S., Urban C. et al. Atemgeräusche und Atem-Nebengeräusche [Normal and adventitious breath sounds]. *Pneumologie.* 2016;70(6):397–404. DOI: 10.1055/s-0042-106155
7. Sarkar M., Madabhavi I., Niranjan N., Dogra M. Auscultation of the respiratory system. *Ann. Thorac. Med.* 2015;10(3):158–68. DOI: 10.4103/1817-1737
8. Генне Н.А., Колосова Н.Г., Кондюрина Е.Г., Малахов А.Б. и др. Национальная программа «Бронхиальная астма у детей. Стратегия лечения и профилактика». М.: МедКом-Про; 2021. 228 с. Gerpe N.A., Kolosova N.G., Kondyurina E.G., Malakhov A.B. et al. National program “Bronchial asthma in children. Treatment strategy and prevention”. M.: MedCom-Pro; 2021. 228 p. (in Russian)
9. Gurung A., Scrafford C.G., Tielsch J.M., Levine O.S. 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):1396–403. DOI: 10.1016/j.rmed.2011.05.007
10. Pramono R.X.A., Bowyer S., Rodriguez-Villegas E. Automatic adventitious respiratory sound analysis: a systematic review. *PLoS One.* 2017;12(5):e0177926. DOI: 10.1371/journal.pone.0177926
11. Yoshida M., Togo R., Ogawa T., Haseyama M. Off-screen sound separation based on audio-visual pre-training using binaural audio. *Sensors (Basel).* 2023;23(9):4540. DOI: 10.3390/s23094540
12. Старостина Л.С., Генне Н.А., Малышев В.С., Валиева С.И. и др. Регистратор респираторных звуков — продолжение инноваций. Педиатрия. Consilium Medicum. 2021;2:146–51. Starostina L.S., Gerpe N.A., Malyshev V.S., Valieva S.I. et al. Respiratory sound recorder — continued innovation. *Pediatrics. Consilium Medicum.* 2021;2:146–51. (in Russian). DOI: 10.26442/26586630.2021.2.201017
13. Лукина О.Ф. Особенности исследования функции внешнего дыхания у детей и подростков. Практическая пульмонология. 2017;4:39–44. Lukina O.F. Pulmonary function tests in children and adolescents. *Practical Pulmonology.* 2017;4:39–44. (in Russian)
14. Ханды М.В., Никифорова Т.И., Артамонова С.Ю., Маркова С.В. Компьютерная бронхофонография и тест на котинин у курящих подростков города Якутска. Медицинский вестник Башкортостана. 2018;13(6):15–19. Khandy M.V., Nikiforova T.I., Artamonova S.Yu., Markova S.V. Computed bronchophonography and cotinine test in smoking adolescents of the city of Yakutsk. *Bashkortostan Medical Journal.* 2018;13(6):15–19. (in Russian)
15. Кожевникова Т.Н., Гривас И.С., Помогаев И.В., Малышев В.С. Влияние табакокурения на респираторную функцию у подростков. Доктор.Ру. 2017;4(133):8–13. Kozhevnikova T.N., Grivas I.S., Pomogayev I.V., Malyshev V.S. The effects of tobacco smoking on respiratory function in children and adolescents. *Doctor.Ru.* 2017;4(133):8–13. (in Russian)
16. Малышев В.С., Мельникова И.М., Мизерницкий Ю.Л., Доровская Н.Л. и др. Опыт использования компьютерной бронхофонографии в педиатрической практике. Медицинский совет. 2019;2:188–93. Malyshev V.S., Melnikova I.M., Mizernitsky Yu.L., Dorovskaya N.L. et al. Experience in using computer bronchophonography in paediatric practice. *Medical Council.* 2019;2:183–93. (in Russian). DOI: 10.21518/2079-701X-2019-2-188-193
17. Павленко В.А., Мельникова И.М., Мизерницкий Ю.Л. Клинико-диагностические аспекты прогноза бронхиальной астмы у детей раннего возраста. Медицинский совет. 2017;9:70–5. Pavlenko V.A., Melnikova I.M., Mizernitsky Yu.L. Clinical and diagnostic aspects of prediction of bronchial asthma in early childhood. *Medical Council.* 2017;9:70–5. (in Russian). DOI: 10.21518/2079-701X-2017-9-70-75

Поступила / Received: 10.04.2023

Принята к публикации / Accepted: 10.05.2023