

# Интрапульмональная электронная аускультация при бронхиальной астме и хронической обструктивной болезни легких

С.И.Глотов , О.М.Урясьев, Ю.Ю.Бяловский, С.В.Булатецкий, И.Б.Пономарева

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 390026, Россия, Рязань, ул. Высоковольная, 9

## Резюме

**Целью** исследования явилась разработка и клиническая апробация метода интрапульмональной электронной аускультации (ИПЭА) для получения аудио- и видеозаписей трахеобронхиального дерева на разном уровне для диагностики бронхиальной астмы (БА) и хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ). **Материалы и методы.** Обследованы больные ХОБЛ ( $n = 31$ ) среднетяжелой ( $n = 17$ ) и тяжелой ( $n = 14$ ) степени с выраженной симптоматикой вне обострения и пациенты ( $n = 35$ ) с частично контролируемой БА среднетяжелой ( $n = 19$ ) и тяжелой степени ( $n = 16$ ). Выполнялись традиционная бронхоскопия, внутробронхиальная регистрация акустических шумов при помощи микрофона (вводился в инструментальный канал бронхоскопа) на разных уровнях трахеобронхиального дерева. При видеосъемке в разных режимах обнаружены причины возникновения хрипов. Одновременно в межлопаточной области регистрировались легочные звуки в проекционных точках трахеобронхиального дерева, в которых находился бронхоскоп, с помощью электронного стетоскопа 3M™ *Littmann*® 3200 (США). **Результаты.** Наибольшие межгрупповые различия между пациентами с ХОБЛ среднетяжелой и тяжелой степени продемонстрированы по интрапульмональным звуковым параметрам (частота и продолжительность хрипов –  $p < 0,0001$ ) и амплитудно-частотным характеристикам (АЧХ) хрипов в просвете бронхов IV порядка ( $p < 0,0001$ ), которые существенно превышали соответствующие звуковые феномены при аускультации с поверхности грудной клетки ( $p < 0,01$ ). Наиболее значимые межгрупповые различия у пациентов с БА среднетяжелой и тяжелой степени наблюдались по АЧХ хрипов при ИПЭА в просвете бронхов III ( $p < 0,0001$ ) и IV порядка ( $p < 0,0001$ ); в меньшей степени – по АЧХ при аускультации с поверхности грудной клетки ( $p < 0,001$ ). **Заключение.** Продемонстрировано, что ИПЭА является современным аускультативным методом в пульмонологии, при помощи которого можно повысить качество и эффективность диагностики больных БА и ХОБЛ.

**Ключевые слова:** интрапульмональная электронная аускультация, бронхиальная астма, свистящие хрипы, хроническая обструктивная болезнь легких.

**Конфликт интересов.** Конфликт интересов авторами не заявлен.

**Финансирование.** Финансирование исследования осуществлялось из бюджета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

**Этическая экспертиза.** Проведенное изучение метода интрапульмональной электронной аускультации при бронхиальной астме и хронической обструктивной болезни легких соответствует принципам Хельсинкской Декларации Всемирной медицинской ассоциации. Протокол исследования рассмотрен и одобрен Локальным этическим комитетом Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (протокол № 10 от 10.05.17).

**Благодарности.** Коллектив авторов благодарен за помощь в проведении бронхоскопии и интрапульмональной аускультации заведующему эндоскопическим отделением Государственного бюджетного учреждения Рязанской области «Областной клинический противотуберкулезный диспансер» [Степану Юрьевичу Бугрову].

© Глотов С.И. и соавт., 2024

Для цитирования: Глотов С.И., Урясьев О.М., Бяловский Ю.Ю., Булатецкий С.В., Пономарева И.Б. Интрапульмональная электронная аускультация при бронхиальной астме и хронической обструктивной болезни легких. *Пульмонология*. 2024; 34 (5): 688–699. DOI: 10.18093/0869-0189-2024-34-5-688-699

## Intrapulmonary electronic auscultation for asthma and chronic obstructive pulmonary disease

Sergei I. Glotov , Oleg M. Uryasev, Yuriy Yu. Byalovskiy, Sergei V. Bulatetskiy, Irina B. Ponomareva

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional “Ryazan State Medical University”, Ministry of Healthcare of the Russian Federation: ul. Vysokovoltnaya 9, Ryazan, 390026, Russia

## Abstract

**The aim** of the study was to develop and perform clinical testing of the intrapulmonary electronic auscultation method for audio and video recording at various levels of the tracheobronchial tree for the diagnosis of asthma and chronic obstructive pulmonary disease (COPD). **Methods.** We examined 31 patients with moderate ( $n = 17$ ) and severe ( $n = 14$ ) COPD with severe symptoms outside of exacerbation and 35 patients with moderate ( $n = 19$ ) and severe ( $n = 16$ ) partially controlled asthma. Traditional bronchoscopy was performed, including intrabronchial recording of acoustic noise with a microphone (introduced into the instrumental channel of the bronchoscope) at various levels of the tracheobronchial tree. Video recording in various modes revealed the causes of wheezing. At the same time, pulmonary sounds were recorded in the interscapular region

of the chest at the projection points of the bronchoscope in the tracheobronchial tree using a 3M™ Littmann® 3200 electronic stethoscope (USA). **Results.** The greatest intergroup differences between patients with moderate and severe COPD were demonstrated by intrapulmonary sound parameters (frequency and duration of wheezing,  $p < 0.0001$ ) and frequency response (amplitude–frequency characteristics) of wheezing in the lumen of the 4<sup>th</sup> order bronchi ( $p < 0.0001$ ), significantly exceeded the corresponding sound phenomena during auscultation from the surface of the chest ( $p < 0.01$ ). The most significant intergroup differences in the groups of BA patients with moderate and severe disease were observed in the frequency response of wheezing during intrapulmonary auscultation in the lumen of the 3<sup>rd</sup> order ( $p < 0.0001$ ) and 4<sup>th</sup> order ( $p < 0.0001$ ) bronchi; smaller differences were observed in the frequency response during auscultation from the chest surface ( $p < 0.001$ ). **Conclusion.** Intrapulmonary auscultation is a modern auscultatory method which can improve the quality and efficiency of diagnosis of asthma and COPD in pulmonology.

**Key words:** intrapulmonary electronic auscultation; asthma; wheezing; chronic obstructive pulmonary disease (COPD).

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

**Funding.** The study was funded from the budget of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Ryazan State Medical University named after academician I.P.Pavlov” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation.

**Ethical review.** The study of the intrapulmonary electronic auscultation method in asthma and COPD corresponds to the principles of the Declaration of Helsinki of the World Medical Association. The study protocol was reviewed and approved by the local ethics committee of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education “Ryazan State Medical University named after academician I.P.Pavlov” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation (protocol No.10 of May 10, 2017).

**Acknowledgments.** The authors would like to thank the head of the endoscopic department of the State budgetary institution of the Ryazan region “Regional Clinical Tuberculosis Dispensary” [Stepan Yu. Bugrov], for his assistance in performing bronchoscopy and intrapulmonary auscultation. © Glotov S.I. et al., 2024

For citation: Glotov S.I., Uryasev O.M., Byalovskiy Yu.Yu., Bulatetskiy S.V., Ponomareva I.B. Intrapulmonary electronic auscultation for asthma and chronic obstructive pulmonary disease. *Pul'monologiya*. 2024; 34 (5): 688–699 (in Russian). DOI: 10.18093/0869-0189-2024-34-5-688-699

### Посвящается памяти профессора В.Н.Абросимова

Наиболее распространенными обструктивными респираторными заболеваниями являются бронхиальная астма (БА) и хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ). В настоящее время отмечается тенденция к увеличению заболеваемости [1–6], а гиподиагностика и поздняя диагностика БА и ХОБЛ приводят к более тяжелому течению и высокой летальности [1–8].

Одним из ведущих методов диагностики заболеваний дыхательной системы является аускультация. Аускультативная картина бронхообструкции следующая: жесткое дыхание, свистящие хрипы, иногда свистящее дыхание на выдохе. Критериальным диагностическим признаком БА являются слышимые на расстоянии хрипы музыкального характера постоянной длительности с преобладающей частотой  $> 100$  Гц [1, 2, 9–11].

С появлением электронной аускультации отмечаются успехи в описании основных и дополнительных дыхательных шумов [10–15]. Существует много моделей электронных стетоскопов, в т. ч. с возможностью записи и хранения информации. Все количественные и качественные характеристики аускультативных феноменов получены электронной аускультацией с поверхности грудной клетки, либо в результате физического моделирования различных патологических звуков легких. При сравнении спектральной характеристики дыхательных звуков у здоровых людей и пациентов с ХОБЛ и БА выявлено, что срединная частота спектров дыхательных звуков – F50 (SD), которые регистрировались на груди, была выше у пациентов с БА в сравнении с лицами группы контроля и больными ХОБЛ [16].

Среди многочисленных теорий динамической флаттер (вибрация стенок суженных бронхов при прохождении воздуха) считается ведущим механизмом патогенеза свистящих хрипов [14, 17–19]. В эксперименте установлено, что динамический флаттер вызы-

вает повышение синтеза интерлейкина-8 клеточной модели храпа, что запускает воспалительный каскад в клетках эпителия дыхательных путей, т. е. механическое воздействие вибрации является триггером включения воспалительного процесса [20, 21].

Следует отметить, что храп также является дополнительным дыхательным шумом, проявляется громким вибрирующим звуком, исходящим из верхних дыхательных путей спящего человека, амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) хрипов составляют в среднем 500 Гц. Вибрация при храпе напоминает вибрацию дыхательных путей при свистящем дыхании. Предполагается, что у больных БА, и ХОБЛ флаттер при свистах может вызывать воспаление и изменения в микроциркуляторном русле нижних дыхательных путей, нарушать ангиогенез и обменно-транспортные процессы. Для обоснования данного предположения необходим принципиально новый метод диагностики и анализа процессов, происходящих в дыхательной системе при БА и ХОБЛ.

Традиционное расположение акустического датчика на теле пациента не может обеспечить высокую точность акустической диагностики изменений в бронхолегочном аппарате, т. к. послойное строение организма человека – кожа, жировая прослойка, мышцы, а также внешние шумы искажают звуки, ослабляют их интенсивность. При использовании данной методики присутствует элемент субъективности и нет возможности объективизировать получаемую информацию. Разработанный К.Аkasaka метод интрапульмональной аускультации [22] был достаточно травматичным и нуждался в совершенствовании. Для улучшения качества диагностики и лечения обструктивных заболеваний дыхательной системы использован метод интрапульмонального исследования легочных звуков, основанный на совместной аускультации дыхательных путей и бронхоскопии. Запись звуков

на различном уровне трахеобронхиального дерева в дальнейшем позволяет проводить на компьютере тщательный анализ акустических феноменов, а видеосъемка в различных режимах — выявлять наличие слизи в дыхательных путях и динамический флаттер.

Целью исследования явилась демонстрация работки и клинической апробации метода интрапульмональной электронной аускультации (ИПЭА) с оценкой диагностических возможностей метода у пациентов с ХОБЛ и БА.

## Материалы и методы

Добровольное участие в исследовании приняли 66 пациентов с установленным диагнозом БА и ХОБЛ и многолетним стажем заболевания. У включенных в исследование пациентов многократно проводилось клинико-инструментальное обследование. Степень тяжести заболевания подтверждена согласно стандартам диагностики [1, 3].

Всем пациентам с БА и ХОБЛ в день проведения ИПЭА проводилась спирометрия. Исследование осуществлялось в период с 2017 по 2019 гг.

Частично контролируемая БА (20–24 балла по результатам оценки с помощью теста по контролю над БА (*Asthma Control Test* – АСТ)) отмечена у 35 пациентов (19 мужчин, 16 женщин; возраст – 35–64 года, средний возраст –  $47,3 \pm 4,2$  (35–70) года), продолжительность заболевания –  $11,8 \pm 3,2$  (7,2–15,7) года), с БА среднетяжелой степени (спирометрические показатели: соотношение показателей объема форсированного выдоха за 1-ю секунду ( $ОФВ_1$ ) и форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ)  $< 0,7$ ;  $ОФВ_1$  – 60–80 %<sub>долж.</sub>;  $n = 19$ ) и тяжелой степени (спирометрические показатели:  $ОФВ_1 / ФЖЕЛ < 0,7$ ;  $ОФВ_1 < 60$  %<sub>долж.</sub>;  $n = 16$ ) в соответствии с рекомендациями Глобальной инициативы по лечению и профилактике БА (*Global INitiative for Asthma* – GINA, 2017, 2019) [23].

У 31 пациента (29 мужчин, 2 женщины в возрасте от 47 до 68 лет, средний возраст –  $57,3 \pm 4,6$  (47–68) года), продолжительность заболевания ХОБЛ –  $15,2 \pm 2,7$  (10,1–18,3) года) выявлена ХОБЛ среднетяжелой ( $ОФВ_1 / ФЖЕЛ < 0,7$ ;  $50\% \leq ОФВ_1 < 80$  %<sub>долж.</sub>;  $n = 14$ ) и тяжелой степени ( $ОФВ_1 / ФЖЕЛ < 0,7$ ;  $30\% \leq ОФВ_1 < 50$  %<sub>долж.</sub>;  $n = 17$ ) с выраженной симптоматикой (результаты оценочного теста по ХОБЛ (*COPD Assessment Test* – CAT)  $\geq 10$  баллов, модифицированной шкалы одышки (*Modified Medical Research Council Dyspnea Scale* (mMRC)  $\geq 2$  баллов) вне обострения в соответствии с Глобальной стратегией по диагностике, лечению и профилактике хронической обструктивной болезни легких ((*Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease* (GOLD)) 2018) [24] и Российских Национальных клинических рекомендаций по диагностике и лечению ХОБЛ (2017) [25].

Спирометрия осуществлялась по правилам Европейского респираторного (*European Respiratory*

*Society* – ERS) и Американского торакального (*American thoracic Society* – ATS) обществ (2019) с помощью спирометра *Vitalograph ALPHA* (Великобритания) с бронходилатационным тестом (4 ингаляционные дозы по 100 мкг короткодействующего  $\beta_2$ -адреномиметика вентолина) [26].

Пациенты жаловались на одышку инспираторного и экспираторного типа, сухой непродуктивный кашель, у всех отмечались иногда слышимые на расстоянии свистящие хрипы в грудной клетке.

*Критерии невключения в исследование:*

- противопоказания к бронхоскопии;
- обострение ХОБЛ;
- неконтролируемая БА;
- стеноз гортани 2-й и 3-й степени;
- дыхательная недостаточность 3-й степени;
- перенесенные  $< 6$  мес. инфаркт миокарда или инсульт;
- нарушение свертываемости крови;
- психические заболевания;
- индивидуальная непереносимость обезболивающих препаратов.

В исследовании не принимали участие пациенты с различными патологическими симптомами, возникающими в результате дисфункции респираторных органов, другими заболеваниями дыхательной системы (опухоль легкого, пневмония, тромбоэмболия легочной артерии), ожирением (индекс массы тела (ИМТ)  $> 35$  кг / м<sup>2</sup>), страдающие тяжелым сахарным диабетом с кетоацидозом, а также лица старческого возраста, не способные понять цели и задачи исследования.

У пациентов проводилась традиционная бронхоскопия согласно международным и российским правилам и нормам для данного вида исследования. От каждого пациента после ознакомления с целями и задачами исследования получено добровольное информированное согласие на проведение бронхоскопии и дополнительно – на запись звуковых феноменов в легких.

Исследование одобрено 10.05.17 на заседании локального этического комитета при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Во время проведения бронхоскопии по стандартной методике (использовались фибробронхоскопы *Pentax FB-18V*, *Olympus BF-PE 2* с видеоприставкой *Karl Storz Tele Pack X*) выполнялась внутрибронхиальная регистрация акустических шумов на различных уровнях (до бронхов III–IV порядка) при помощи микрофона, введенного в инструментальный канал бронхоскопа (рис. 1)<sup>1</sup>.

Акустико-технические характеристики микрофона:

- чувствительность – 30–40 дБ;
- диапазон частот – 17–20 000 Гц.

<sup>1</sup> Абросимов В.Н., Готов С.И., Кузнецов В.И., Бугров С.Ю. Бронхоскоп, набор съемных средств и элемент набора съемных средств для осуществления бронхоскопа: Патент РФ № 142312. Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей РФ 21.05.14.

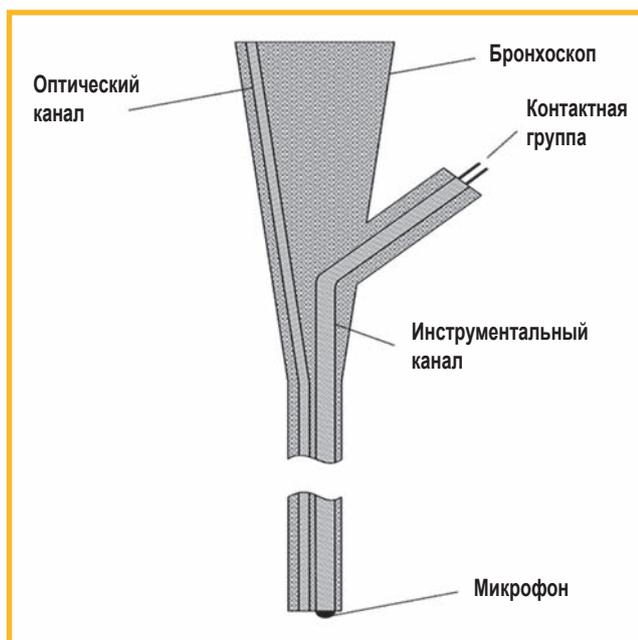


Рис. 1. Схематическое изображение бронхоскопа и место прикреплении акустического датчика

Figure 1. Bronchoscope with connector for the acoustic sensor

Параллельно осуществлялась видеозапись. При использовании компьютера проводился отдаленный анализ акустических феноменов полученной звукозаписи, по результатам видеосъемки в различных режимах определялось наличие флаттера дыхательных путей (как одного из вероятных механизмов возникновения хрипов) и других причин возникновения хрипов (наличие слизи, бронхоспазма).

Видеоприставка *Karl Storz Tele Pack X* (Карл Шторц ГмбХ и Ко. КГ, Германия) включает в себя блок документирования, видеокамеру (TELECAM с одной матрицей) и мощный LED-источник света, что обеспечивает отличную визуализацию результатов с помощью высококачественного плоскоэкранный монитора 15" со светодиодной подсветкой. Шесть USB-портов и один разъем для SD-карты памяти дают возможность сохранять полученные изображения и видеоролики, а также распечатывать их на USB-принтере (рис. 2).

Одновременно в межлопаточной области с использованием электронного стетоскопа *3M™ Littmann® 3200* (США) регистрировались легочные звуки в проекционных точках расположения бронхоскопа в легких для последующего анализа и сравнения аускультативных данных с интрапульмональной аудиозаписью<sup>2</sup>.

При тестовых испытаниях в одинаковых для записи условиях сравнивались возможности двух акустических датчиков: микрофона для интрапульмональных исследований и воспринимающей головки стетоскопа. При корреляционном анализе достоверных различий ( $p > 0,05$ ) записей звуковых сигналов (амплитудно-частотных характеристик, продолжительности),

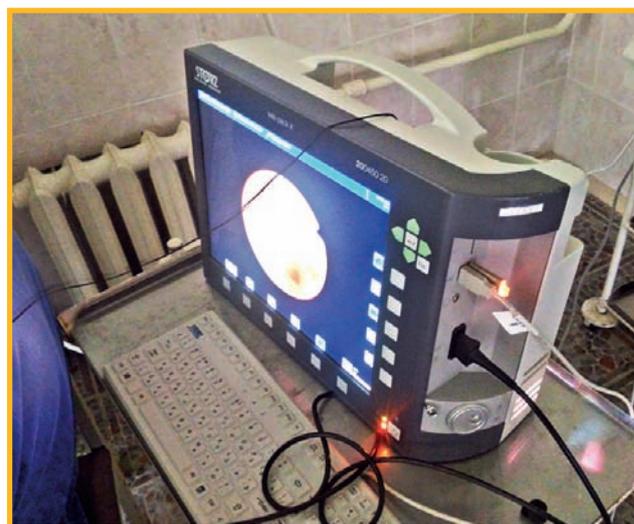


Рис. 2. Видеоприставка *Karl Storz Tele Pack X* (Карл Шторц ГмбХ и Ко. КГ., Германия)

Figure 2. *Karl Storz Tele Pack X* video unit (Karl Storz GmbH & Co. KG., Germany)

полученных как микрофоном, так и стетоскопом, не выявлено.

АЧХ дыхательных шумов анализировались с помощью программ *Spectrogram 5.0* и *Adobe Audition 10.0*.

Полученные в исследовании результаты обработаны с использованием редактора электронных таблиц *MS Excel 2010* (Microsoft, США), программного решения *GraphPad Prism 7* (GraphPad Company, США) и аналитического программного пакета *Statistica 13* (StatSoft Inc, США). Для обоснования корректности использования параметрических методов обработки проведена проверка нормальности распределения с помощью критерия Шапиро–Уилка, равенства дисперсий – теста Левена. Внутригрупповые показатели с определением средних арифметических ( $M$ )  $\pm$  стандартные ошибки среднего ( $m$ ) рассчитывались методом вариационной статистики. Оцениваемые с помощью  $t$ -критерия Стьюдента межгрупповые различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ . Путем однофакторного дисперсионного анализа определялось влияние организованного фактора (нулевая гипотеза об отсутствии влияния организованного фактора отклонялась при  $F > F_{\text{крит.}}$ ;  $p < 0,05$ ).

## Результаты

Показано, что функция распределения внутригрупповых показателей близка к нормальной. Гомогенность внутригрупповой дисперсии была статистически значимой. Это позволило в оценке внутригрупповых и межгрупповых свойств использовать методы параметрической статистики. У пациентов с ХОБЛ средней степени отмечены следующие антропометрические данные: рост –  $172 \pm 1,0$  см, масса тела –  $76,3 \pm 2,3$  кг, у пациентов с ХОБЛ тяжелой степени –  $170 \pm 1,9$  см и  $77,9 \pm 2,6$  кг соответственно.

<sup>2</sup> Абросимов В.Н., Готов С.И., Бугров С.Ю., Точилин Н.Н. Способ выявления патологии органов дыхания и бронхоскоп для осуществления способа: Патент РФ № 2554211. Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей РФ 27.05.15.

Межгрупповые различия по t-критерию недостоверны ( $p_{\text{рост}} = 0,18$ ,  $p_{\text{масса тела}} = 0,94$ ). ИМТ у пациентов с ХОБЛ среднетяжелой степени составил  $25,5 \pm 0,7$  кг / м<sup>2</sup>; у пациентов с ХОБЛ тяжелой степени –  $26,9 \pm 0,7$  кг / м<sup>2</sup>; межгрупповые различия по t-критерию также недостоверны ( $p = 0,53$ ).

Рост пациентов с БА среднетяжелой степени составил  $169 \pm 1,4$  см, масса тела –  $81,8 \pm 2,7$  кг, у пациентов с БА тяжелой степени –  $167 \pm 2,4$  см и  $86,3 \pm 3,8$  кг соответственно, межгрупповые различия по t-критерию недостоверны ( $p_{\text{рост}} = 0,64$ ,  $p_{\text{масса тела}} = 0,14$ ). ИМТ у пациентов с БА среднетяжелой степени составил  $28,3 \pm 0,8$  кг / м<sup>2</sup>, тяжелой степени –  $30,6 \pm 1,1$  кг / м<sup>2</sup>, межгрупповые различия по t-критерию недостоверны ( $p = 0,21$ ).

У 11 (64,7 %) пациентов с ХОБЛ среднетяжелой степени выявлен преимущественно эмфизематозный клинический фенотип по GOLD (2018), у 3 (17,6 %) – преимущественно бронхитический фенотип, у 3 (17,6 %) – смешанный.

У 10 (71,4 %) пациентов с ХОБЛ тяжелой степени в основном выявлен эмфизематозный фенотип, у 3 (21,4 %) – бронхитический, у 1 (7,1 %) – смешанный (пациенты были отнесены к разным фенотипам по данным клинического и инструментального обследования (рентгенографии и компьютерной томографии грудной клетки)).

Для уточнения диагностической значимости звуковых явлений при ИПЭА в первую очередь выяснялось, имеется ли статистическое влияние нозологической

формы заболевания (ХОБЛ или БА) на изучаемые потоковые и звуковые показатели. Для этого с помощью ANOVA были сформированы 2 градации организованного фактора «Нозологическая форма» (ХОБЛ и БА соответственно). Эти группы составили пациенты с ХОБЛ и БА средней и тяжелой степени.

В качестве показателей факторного отклика F-статистики (неорганизованные факторы) выступали потоковые и звуковые показатели. В табл. 1 приведены результаты однофакторного дисперсионного анализа влияния организованного фактора «Нозологическая форма» на изучаемые показатели.

При объяснении результатов, приведенных в табл. 1, отмечено, что наибольшая доля межгрупповой (объясненной или организованной) дисперсии, обусловленной разным влиянием ХОБЛ и БА на потоковые и звуковые показатели, установлена в отношении индекса Тиффно (вероятность ошибки критерия Фишера ( $P_F$ ) = 0,00002); АЧХ хрипов, средней частоты традиционной аускультации ( $P_F = 0,0001$ ); продолжительности хрипов, ИПЭА бронхов III порядка ( $P_F = 0,0027$ ); ОФВ<sub>1</sub> ( $P_F = 0,0134$ ); продолжительности хрипов традиционной аускультации ( $P_F = 0,0185$ ). Это означает, что нозологическая форма заболевания достоверно влияет на изменение ряда спирометрических и звуковых показателей.

Влияние нозологической формы на потоковые и аускультативные показатели отражалось в межгрупповых различиях данных показателей у больных ХОБЛ и БА, оцениваемых по критерию Стьюдента (табл. 2).

**Таблица 1**  
**Однофакторный дисперсионный анализ влияния организованного фактора «Нозологическая форма» по ряду изучаемых показателей**

**Table 1**  
**One-factor analysis of variance of the effect of the independent factor “Nosological entity” on a number of studied characteristics**

Показатель	Источник вариации	MS	F	$P_F$	$\eta^2$
Индекс Тиффно	Между группами	0,22	22,87	0,00002	26,5
	Внутри групп	0,01			
ОФВ <sub>1</sub>	Между группами	1261,09	6,47	0,0134	9,1
	Внутри групп	194,96			
АЧХ хрипов, средняя частота при традиционной аускультации, Гц	Между группами	127226,68	16,89	0,0001	20,8
	Внутри групп	7534,36			
Продолжительность хрипов при традиционной аускультации, мс	Между группами	659,47	5,84	0,0185	8,3
	Внутри групп	112,88			
АЧХ хрипов при ИПЭА в бронхах III порядка, Гц	Между группами	7715,19	2,18	0,1449	3,2
	Внутри групп	3542,64			
Продолжительность хрипов при ИПЭА в бронхах III порядка, мс	Между группами	2529,60	9,71	0,0027	13,1
	Внутри групп	260,56			
АЧХ хрипов при ИПЭА в бронхах IV порядка, Гц	Между группами	3009,39	1,32	0,2556	2,0
	Внутри групп	2286,62			
Продолжительность хрипов при ИПЭА в бронхах IV порядка, мс	Между группами	91,66	0,39	0,5328	0,6
	Внутри групп	233,09			

Примечание: ОФВ<sub>1</sub> – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; АЧХ – амплитудно-частотные характеристики; ИПЭА – интрапульмональная электронная аускультация; MS – факторный отклик; F – величина критерия Фишера;  $P_F$  – вероятность ошибки критерия Фишера;  $\eta^2$  – сила влияния организованного фактора (%).

Note: MS, factorial response; F, Fisher test value;  $P_F$ , probability of error of the Fisher test;  $\eta^2$ , strength of effect of the independent factor (%).

Таблица 2

Значения ( $M \pm m$ ) исследуемых показателей функционального состояния у больных хронической обструктивной болезнью легких и бронхиальной астмой

Table 2

Values ( $M \pm m$ ) of the studied characteristics of functional status in patients with chronic obstructive pulmonary disease and asthma

Показатели	Заболевание		p
	ХОБЛ	БА	
	n = 31	n = 35	
ОФВ <sub>1</sub> пост., %	49,6 ± 13,1	58,4 ± 14,7	0,0134
Индекс Тиффно, ед.	0,46 ± 0,12	0,57 ± 0,07	0,00032
АЧХ хрипов, средняя частота при традиционной аускультации, Гц	372,7 ± 23,6	460,7 ± 117,0	0,00186
Продолжительность хрипов при традиционной аускультации, мс	100,6 ± 9,7	106,9 ± 11,4	0,0185
АЧХ хрипов при ИПЭА в бронхах III порядка, Гц	635,8 ± 45,0	614,1 ± 69,9	0,1449
Продолжительность хрипов при ИПЭА в бронхах III порядка, мс	210,3 ± 19,6	197,9 ± 12,3	0,0027
АЧХ хрипов при ИПЭА в бронхах IV порядка, Гц	556,6 ± 47,5	570,1 ± 48,1	0,2556
Продолжительность хрипов при ИПЭА в бронхах IV порядка, мс	182,8 ± 18,0	185,2 ± 12,4	0,5328

Примечание: ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких; БА – бронхиальная астма; ОФВ<sub>1</sub> – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; АЧХ – амплитудно-частотные характеристики; ИПЭА – интрапульмональная электронная аускультация; p – достоверность различий средних по t-критерию Стьюдента.

Note: p, significance of differences in the mean values according to Student's t-test.

Группы пациентов организованы как выборки с разными нозологиями без учета степени тяжести (см. табл. 1, 2). В табл. 3–6 группы больных организованы как выборки с разными степенями тяжести по каждой нозологии (ХОБЛ либо БА). Таким образом, в исследовании отдельно выясняется диагностическая

роль звуковых показателей как в отношении фактора болезни (ХОБЛ и БА; см. табл. 1, 2), так и в отношении ХОБЛ разной степени тяжести (табл. 3, 4) и БА (табл. 5, 6).

На следующем этапе с помощью F-статистики ANOVA проведена оценка статистического влияния

Таблица 3

Результаты однофакторного дисперсионного анализа влияния организованного фактора «Тяжесть хронической обструктивной болезнью легких»

Table 3

One-factor analysis of variance of the effect of the independent factor “Chronic obstructive pulmonary disease severity”

Показатель	Источник вариации	MS	F	P <sub>F</sub>	η <sub>F</sub> <sup>2</sup>
Индекс Тиффно	Между группами	0,167229573	24,09424621	0,00000432	47,2
	Внутри групп	0,007074321			
ОФВ <sub>1</sub>	Между группами	3012,113218	50,01324110	0,000006243	65,2
	Внутри групп	59,96021091			
АЧХ хрипов, средняя частота традиционной аускультации, Гц	Между группами	6300,09443	17,76297444	0,000266621	40,5
	Внутри групп	354,6703297			
Продолжительность хрипов при традиционной аускультации, мс	Между группами	464,1428571	8,048975703	0,008707865	23,6
	Внутри групп	57,66483516			
АЧХ хрипов при ИПЭА, бронхи III порядка, Гц	Между группами	28289,28571	29,35794726	0,0000011	53,0
	Внутри групп	963,5989011			
Продолжительность хрипов, ИПЭА, бронхи III порядка, мс	Между группами	2780,035714	18,59453152	0,000206352	41,6
	Внутри групп	149,5082418			
АЧХ хрипов, ИПЭА, бронхи IV порядка, Гц	Между группами	320143,098	32,5768912	0,00000054	52,7
	Внутри групп	963,5989011			
Продолжительность хрипов, ИПЭА, бронхи IV порядка, мс	Между группами	5404,321429	34,39053513	0,000003495	56,9
	Внутри групп	157,1456044			

Примечание: MS – факторный отклик; F – величина критерия Фишера; P<sub>F</sub> – вероятность ошибки критерия Фишера; η<sub>F</sub><sup>2</sup> – сила влияния организованного фактора (%); ОФВ<sub>1</sub> – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; АЧХ – амплитудно-частотные характеристики; ИПЭА – интрапульмональная электронная аускультация.

Note: MS, factorial response; F, Fisher test value; P<sub>F</sub>, probability of error of the Fisher test; η<sub>F</sub><sup>2</sup>, strength of effect of the independent factor (%).

**Таблица 4**  
**Статистические показатели ( $M \pm m$ ) функционального состояния у больных хронической обструктивной болезнью легких среднетяжелой и тяжелой степени**

**Table 4**  
**Statistical indicators ( $M \pm m$ ) of the functional state in patients with moderate and severe chronic obstructive pulmonary disease**

Показатели	Степень ХОБЛ		p
	среднетяжелая	тяжелая	
ОФВ <sub>1</sub> пост., %	61,27 ± 2,40	39,94 ± 1,43	0,000003
Индекс Тиффно, ед.	0,55 ± 0,02	0,38 ± 0,02	0,00029
АЧХ хрипов, средняя частота традиционной аускультации, Гц	357,14 ± 4,15	385,58 ± 5,17	0,00034
Продолжительность хрипов, традиционной аускультации, мс	94,78 ± 2,11	105,35 ± 2,05	0,0098
АЧХ хрипов при ИПЭА, бронхи III порядка, Гц	599,65 ± 5,40	665,5 ± 8,99	0,0000065
Продолжительность хрипов, ИПЭА, бронхи III порядка, мс	196,28 ± 3,09	221,75 ± 4,17	0,00088
АЧХ хрипов при ИПЭА, бронхи IV порядка, Гц	511,42 ± 4,04	593,91 ± 6,78	0,0000026
Продолжительность хрипов, ИПЭА, бронхи IV порядка, мс	169,42 ± 3,25	193,88 ± 3,40	0,00011

Примечание: ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких; ОФВ<sub>1</sub> – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; АЧХ – амплитудно-частотные характеристики; ИПЭА – интрапульмональная электронная аускультация; p – достоверность различий средних по t-критерию Стьюдента.

Note: p, significance of differences in the mean values according to Student's t-test.

**Таблица 5**  
**Результаты однофакторного дисперсионного анализа влияния организованного фактора «Тяжесть бронхиальной астмы»**

**Table 5**  
**One-factor analysis of variance of the effect of the independent factor “Severity of asthma”**

Показатель	Источник вариации	MS	F	P <sub>F</sub>	η <sub>F</sub> <sup>2</sup>
ОФВ <sub>1</sub>	Между группами	6355	214,63	0,00000020	86,6
	Внутри групп	29,61			
Индекс Тиффно	Между группами	0,0565	14,15	0,0007	29,7
	Внутри групп	0,004			
АЧХ хрипов, средняя частота традиционной аускультации, Гц	Между группами	408469	236,11	0,0000002	87,7
	Внутри групп	1730			
Продолжительность хрипов, традиционной аускультации, мс	Между группами	689,22	6,13	0,0186	15,6
	Внутри групп	112,35			
АЧХ хрипов при ИПЭА, бронхи III порядка, Гц	Между группами	119481	84,71	0,0000002	71,6
	Внутри групп	1410,4			
Продолжительность хрипов, ИПЭА, бронхи III порядка, мс	Между группами	17,056	0,11	0,743	0,3
	Внутри групп	156,5			
АЧХ хрипов, ИПЭА, IV порядка, Гц	Между группами	48302	52,39	0,0000002	61,3
	Внутри групп	921,9			
Продолжительность хрипов, ИПЭА, бронхи IV порядка, мс	Между группами	20,061	0,13	0,724	0,3
	Внутри групп	158,29			

Примечание: MS – факторный отклик; F – величина критерия Фишера; P<sub>F</sub> – вероятность ошибки критерия Фишера; η<sub>F</sub><sup>2</sup> – сила влияния организованного фактора (%); ОФВ<sub>1</sub> – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; АЧХ – амплитудно-частотные характеристики; ИПЭА – интрапульмональная электронная аускультация.

Note: MS, factorial response; F, Fisher test value; P<sub>F</sub>, probability of error of the Fisher test; η<sub>F</sub><sup>2</sup>, strength of effect of the independent factor (%).

организованного фактора «Тяжесть ХОБЛ» на ряд спирометрических и звуковых показателей пациентов. В состав организованного фактора «Тяжесть ХОБЛ» вошли 2 градации: среднетяжелая и тяжелая степень заболевания (табл. 3).

В табл. 4 приведены средние значения с ошибкой ( $M \pm m$ ) потоковых и звуковых показателей у больных ХОБЛ среднетяжелой и тяжелой степени с оценкой межгрупповых различий по критерию Стьюдента.

Расчет степени влияния организованного фактора «Тяжесть БА» при проведении однофакторного дисперсионного анализа позволил установить факторный отклик изучаемых параметров (табл. 5). В состав организованного фактора «Тяжесть БА» вошли 2 градации БА – среднетяжелой и тяжелой степени.

В табл. 6 приведены средние значения с ошибкой ( $M \pm m$ ) исследуемых показателей у больных БА раз-

Таблица 6  
Значения ( $M \pm m$ ) исследуемых показателей у больных бронхиальной астмой разной степени тяжестиTable 6  
Values ( $M \pm m$ ) of the studied characteristics in patients with asthma of varying severity

Показатели	Степень тяжести БА		p
	среднетяжелая	тяжелая	
	n = 19	n = 16	
ОФВ <sub>1</sub> , %	70,7 ± 5,9	43,7 ± 4,8	0,000068
Индекс Тиффно, ед.	0,61 ± 0,05	0,53 ± 0,08	0,00076
АЧХ хрипов, средняя частота традиционной аускультации, Гц	361,6 ± 45,3	578,4 ± 36,6	0,000063
Продолжительность хрипов, традиционной аускультации, мс	102,8 ± 10,4	111,8 ± 10,8	0,0186
АЧХ хрипов при ИПЭА, бронхи III порядка, Гц	560,5 ± 35,0	677,8 ± 40,5	0,000091
Продолжительность хрипов, ИПЭА, бронхи III порядка, мс	198,5 ± 13,0	197,1 ± 11,9	0,7434
АЧХ хрипов при ИПЭА, бронхи IV порядка, Гц	536,1 ± 26,6	610,6 ± 34,3	0,0000541
Продолжительность хрипов, ИПЭА, бронхи IV порядка, мс	185,9 ± 14,2	184,4 ± 10,3	0,7241

Примечание: БА – бронхиальная астма; ОФВ<sub>1</sub> – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; АЧХ – амплитудно-частотные характеристики; ИПЭА – интрапульмональная электронная аускультация; p – достоверность различий средних по t-критерию Стьюдента.

Note: p, significance of differences in the mean values according to Student's t-test.

ной степени тяжести с оценкой межгрупповых различий по критерию Стьюдента.

## Обсуждение

С целью проверки диагностической значимости ИПЭА исследовались показатели специфичности и чувствительности метода. Для оценки специфичности измерялся факторный отклик возникающих звуковых явлений при разных формах патологии системы дыхания, т. е. определялось влияние специфики болезни (как нозологической формы) на аускультативные признаки. Для решения этой задачи группы пациентов были организованы как выборки с разными нозологиями без учета степени тяжести. Оценка чувствительности метода проводилась путем изучения факторного отклика звуковых явлений ИПЭА пациентов с одной и той же патологией (ХОБЛ или БА), но разной степени тяжести. Для этого группы больных были организованы как выборки с разной степенью тяжести по каждой нозологии (отдельно ХОБЛ, отдельно БА).

Таким образом, в исследовании раздельно выяснялась диагностическая роль звуковых показателей как в отношении нозологической формы болезни (ХОБЛ и БА), так и в отношении разной степени тяжести ХОБЛ или БА.

При проведении дисперсионного анализа методом ANOVA отмечено, что наибольшее влияние фактор «Нозологическая форма» (см. табл. 1) оказывал на индекс Тиффно ( $F = 22,87$ ;  $p = 0,00002$ ), изменения которого на 26,5 % определялись данным фактором. В меньшей степени достоверное влияние организованного фактора испытывали АЧХ при традиционной форме экстрапульмональной аускультации ( $F = 16,89$ ;  $p = 0,0001$ , сила влияния организованного фактора ( $\eta_F^2 = 20,8$ ). Меньшее, но статистически достоверное влияние испытывали такие показатели, как ОФВ<sub>1</sub> ( $F = 6,47$ ;  $p = 0,0134$ ;  $\eta_F^2 = 9,1$ ); продолжительность хрипов при традиционной внелегочной аускультации

( $F = 5,84$ ;  $p = 0,0185$ ;  $\eta_F^2 = 8,3$ ); при ИПЭА бронхов III порядка ( $F = 9,71$ ;  $p = 0,0027$ ;  $\eta_F^2 = 13,1$ ).

Не определено достоверного влияния фактора «Нозологическая форма» на показатели «Амплитуда» и «Частота интрапульмональных звуков» при исследовании бронхов III ( $F = 2,18$ ;  $p = 0,1449$ ;  $\eta_F^2 = 3,2$ ) и IV ( $F = 1,32$ ;  $p = 0,2556$ ;  $\eta_F^2 = 2,0$ ) порядка, длительность хрипов при ИПЭА бронхов IV ( $F = 0,39$ ;  $p = 0,5328$ ;  $\eta_F^2 = 0,6$ ) порядка.

Наибольшие различия между пациентами ХОБЛ и БА (см. табл. 2) наблюдались по индексу Тиффно ( $p = 0,00032$ ), АЧХ хрипов при традиционной форме экстрапульмональной аускультации ( $p = 0,00186$ ); меньшие, но достоверные различия – по ОФВ<sub>1</sub> ( $p = 0,0134$ ), длительности хрипов при традиционной внелегочной аускультации ( $p = 0,0185$ ), длительности хрипов при ИПЭА бронхов III порядка ( $p = 0,0027$ ). У больных ХОБЛ и БА не выявлено различий по амплитуде и частоте интрапульмональных звуков при исследовании бронхов III ( $p = 0,1449$ ) и IV ( $p = 0,2556$ ) порядка, продолжительности хрипов при ИПЭА бронхов IV порядка ( $p = 0,5328$ ).

По результатам однофакторного дисперсионного анализа показано статистически достоверно значимое влияние организованного фактора «Тяжесть ХОБЛ» (см. табл. 3) на результаты постбронходилатационного теста ОФВ<sub>1</sub> ( $F = 50$ ;  $p = 0,000006$ ), сила влияния организованного фактора на 65,8 % определяла изменения измеряемого признака, что подтверждает диагностическое значение бронходилатационного теста ОФВ<sub>1</sub> при определении степени тяжести ХОБЛ.

Несколько меньший факторный отклик наблюдался в отношении индекса Тиффно ( $F = 24$ ;  $p = 0,000004$ ), а сила влияния организованного фактора почти наполовину (48,7 %) определяла изменение этого показателя.

Очень важные сведения получены при дисперсионном факторном анализе звуковых феноменов (АЧХ хрипов в разных точках аускультации и их

продолжительность) в ходе экстрапульмональной аускультации и ИПЭА. Так, АЧХ хрипов в ходе традиционной аускультации достоверно изменяются под влиянием фактора «Степень тяжести ХОБЛ» ( $F = 17,7$ ;  $p = 0,0002$ ), при этом сила влияния организованного фактора на 40,2 % определяла изменения измеряемого признака. Продолжительность хрипов при традиционной аускультации легких зависела от тяжести ХОБЛ ( $F = 8,0$ ;  $p = 0,008$ ) и изменялась с силой 23,6 %. При ИПЭА в бронхах III порядка АЧХ испытывают более высокую зависимость от тяжести ХОБЛ ( $F = 29,3$ ;  $p = 0,0000011$ ), при этом сила влияния организованного фактора на 53 % определяла изменение признака. Длительность хрипов при данной аускультации также зависела от тяжести ХОБЛ ( $F = 18,5$ ;  $p = 0,0002$ ) и на 41,6 % определялась данным фактором.

Показатели ИПЭА в бронхах IV порядка еще больше зависели от тяжести ХОБЛ: АЧХ хрипов испытывают очень значительную зависимость от организованного фактора ( $F = 32,5$ ;  $p = 0,0000005$ ), который изменяет АЧХ с силой 52,7 %. Длительность хрипов при данной локализации ИПЭА также зависела от тяжести ХОБЛ ( $F = 34,4$ ;  $p = 0,000003$ ) и на 56,9 % определялась организованным фактором. Это позволяет предположить, что ИПЭА позволяет осуществлять оценку звуковых феноменов, характерных для ХОБЛ.

Большинство потоковых и аускультативных признаков имели достоверные различия в группах пациентов с ХОБЛ среднетяжелой и тяжелой степени (см. табл. 4). При этом среди аускультативных показателей наибольшие различия продемонстрированы по интрапульмональным звуковым параметрам (частота и продолжительность хрипов;  $p < 0,0001$ ).

Наиболее значительные межгрупповые различия наблюдались по АЧХ хрипов при ИПЭА в просвете бронхов IV порядка ( $p = 0,0000026$ ) и существенно превышали соответствующие звуковые феномены при классической аускультации с поверхности грудной клетки ( $p = 0,00034$ ). Это указывает на высокую диагностическую значимость аускультативных феноменов при ИПЭА легких для оценки состояния пациентов при ХОБЛ разной степени тяжести. При видеосъемке в просветах бронхов III и IV порядков выявлены бронхообструкция (более выраженная при тяжелой степени) и наличие флаттера (особенно на уровне бифуркации бронхов III и IV порядка). АЧХ в области флаттера составляла 400 Гц.

Наиболее существенное влияние организованного фактора «Тяжесть БА» (см. табл. 5) отмечено на результаты потокового теста ОФВ1 ( $F = 214,6$ ;  $p = 0,0000002$ ), при этом сила влияния степени тяжести БА на 86,6 % определяла изменения измеряемого признака, что подтверждает ведущую роль обструкции в формировании звуковых феноменов у больных БА разной степени тяжести. Несколько меньший факторный отклик наблюдался в отношении индекса Тиффно ( $F = 6,3$ ;  $p = 0,0007$ ), при этом сила влияния организованного фактора на 29,7 % определяла изменение этого показателя.

При анализе степени влияния тяжести БА на АЧХ хрипов в разных точках аускультации и их продол-

жительности в ходе экстрапульмональной аускультации и ИПЭА отмечен ряд особенностей. АЧХ хрипов в ходе экстрапульмональной аускультации очень значимо и достоверно изменяется под влиянием фактора «Степень тяжести БА» ( $F = 84,71$ ;  $p = 0,0000002$ ), при этом сила влияния организованного фактора на 87,7 % определяла изменения измеряемого признака.

Продолжительность хрипов при традиционной аускультации в меньшей степени зависела от тяжести БА ( $F = 6,1$ ;  $p = 0,018$ ) и изменялась с силой 15,6 %. При ИПЭА в бронхах III порядка АЧХ испытывают очень высокую зависимость от тяжести БА ( $F = 84,7$ ;  $p = 0,0000002$ ), при этом сила влияния организованного фактора на 76 % определяла изменение признака. Продолжительность хрипов при данной аускультации практически не зависела от тяжести БА ( $F = 0,11$ ;  $p = 0,743$ ) и всего на 0,3 % определялась действием данного фактора. Показатели ИПЭА в бронхах IV порядка существенно зависели от тяжести БА: АЧХ испытывают значительную зависимость от организованного фактора ( $F = 52,3$ ;  $p = 0,0000002$ ), который изменяет характеристики звука с силой 61,3 %. Длительность хрипов при данной локализации ИПЭА не зависела от тяжести БА ( $F = 0,13$ ;  $p = 0,72$ ) и всего на 0,3 % определялась организованным фактором.

Большинство рассматриваемых параметров, приведенных в табл. 6, имели достоверные межгрупповые различия у пациентов с БА среднетяжелой и тяжелой степени. Среди аускультативных показателей наибольшие различия демонстрировали интрапульмональные звуковые параметры. Наиболее значительные межгрупповые различия наблюдались в АЧХ хрипов при ИПЭА в просвете бронхов III ( $p = 0,000091$ ) и IV ( $p = 0,000054$ ) порядка; в меньшей степени – в АЧХ при классической аускультации с поверхности грудной клетки ( $p = 0,00063$ ). Это указывает на диагностическую значимость аускультативных феноменов при ИПЭА легких для оценки функционального состояния пациентов при БА разной степени тяжести. При видеосъемке в просветах бронхов III и IV порядка обнаруживалась бронхообструкция (более выраженная при тяжелой степени БА), наличие слизи (в некоторых участках отмечалось дрожание подобное струне) и флаттера (особенно на уровне бифуркации бронхов III и IV порядка). АЧХ в области флаттера составляла 550 Гц.

Полученные результаты позволяют предположить, что в патогенезе возникновения сухих хрипов принимают участие следующие факторы:

- бронхообструкция и ее выраженность;
- флаттер и мокрота в просвете бронхиального дерева.

С усилением бронхообструкции фиксируются хрипы более высокочастотных АЧХ на уровне бронхов III и IV порядка. У больных ХОБЛ и БА не выявлено различий по амплитуде и частоте интрапульмональных звуков при исследовании бронхов III ( $p = 0,1449$ ) и IV ( $p = 0,2556$ ) порядка, по продолжительности хрипов – при ИПЭА бронхов IV порядка ( $p = 0,5328$ ). Это свидетельствует о том, что АЧХ хрипов бронхообструкции при БА и ХОБЛ примерно одинаковые

(пациенты были вне обострения, возможно, при обострении параметры АЧХ хрипов будут различаться (*L.P.Malmberg et al.*) [16].

По результатам видеосъемки показано, что как при БА, так и при ХОБЛ присутствует флаттер (особенно в области деления бронхов III и IV порядка). Срединные АЧХ здесь разные, более выражены при БА. Возможно, это связано с тем, что бронхи при БА не теряют эластичности. Это также влияет на возникновение хрипов. В некоторых участках бронхиального дерева отмечена тягучая мокрота, которая иногда дрожит как струна, а также ответственна за формирование более высокочастотных хрипов.

ИПЭА более информативна в сравнении с электронной аускультацией поверхности грудной клетки. Она позволяет обеспечить тонкий анализ акустико-биомеханического феномена свистящего дыхания у больных БА и ХОБЛ. Установлено, что по мере приближения к очагу генерации свистящих хрипов отмечается повышение АЧХ хрипов и снижение уровня внешних акустических шумов при увеличении амплитуды звуковых волн.

Синхронный анализ видеозаписи трахеобронхиального дерева и звуковой регистрации свистящих хрипов дает возможность оценить механизм возникновения хрипов у больных ХОБЛ и БА, оценить значение флаттера в появлении свистящего дыхания, роль слизи в возникновении хрипов. К преимуществам метода относится отсутствие зависимости получаемых результатов от индивидуальных особенностей телосложения пациента и внешних шумов.

Метод ИПЭА во многом экспериментальный, а показания к его проведению пока ограничены следующими случаями:

- при установлении диагноза БА;
- при проведении дифференциальной диагностики хронических обструктивных заболеваний;
- при выявлении обструкции бронхов III и IV порядка.

Однако по результатам исследования подтверждено, что ИПЭА является перспективным направлением в пульмонологии для получения дополнительной диагностической информации и повышения эффективности диагностического процесса и последующего лечения. Внедрение данного метода позволит своевременно оценить механизмы развития патологических процессов в воздухоносных дыхательных путях, что обеспечит диагностику хронических заболеваний легких еще до стадии выраженных клинических проявлений и позволит организовать динамическое наблюдение за течением БА и ХОБЛ.

## Заключение

При оценке звуковых явлений, регистрируемых при проведении ИПЭА, выделяется ряд показателей, имеющих статистически достоверную диагностическую значимость. Организованный фактор «Нозологическая форма заболевания» (ХОБЛ или БА) оказывал достоверное влияние на изменение таких звуковых феноменов, как АЧХ хрипов средних частот

и продолжительность хрипов при ИПЭА бронхов III порядка.

Организованный фактор «Тяжесть ХОБЛ» на 53 % определял изменения АЧХ хрипов при ИПЭА в бронхах III порядка и на 41 % — длительность хрипов в этих бронхах. Показатели ИПЭА в бронхах IV порядка еще больше зависели от тяжести ХОБЛ: АЧХ хрипов испытывают очень значительную (52 %) зависимость от организованного фактора. Длительность хрипов при данной локализации ИПЭА также зависела от тяжести ХОБЛ на 56,9 % и определялась организованным фактором «Тяжесть ХОБЛ».

При ИПЭА в бронхах III порядка АЧХ испытывают очень высокую зависимость от тяжести БА, при этом сила влияния организованного фактора на 76 % определяла изменение признака. Показатели ИПЭА в бронхах IV порядка существенно зависели от тяжести БА: АЧХ испытывают значительную зависимость от организованного фактора, который изменяет характеристики звука с силой 61,3 %.

## Литература

1. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. Updated 2023. Available at: <https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2023/05/GINA-2023-Full-Report-2023-WMS.pdf> [Accessed: May 01, 2023].
2. Чучалин А.Г., Авдеев С.Н., Айсанов З.Р. и др. Бронхиальная астма: федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению. *Пульмонология*. 2022; 32 (3): 393–447. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-3-393-447.
3. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. 2023 Report. Available at: <https://goldcopd.org/2023-gold-report-2/>
4. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Хроническая обструктивная болезнь легких: Клинические рекомендации. 2023. Доступно на: [https://spulmo.ru/upload/kr/HOBL\\_2023\\_draft.pdf](https://spulmo.ru/upload/kr/HOBL_2023_draft.pdf)
5. Авдеев С.Н., Лещенко И.В., Айсанов З.Р. Новая концепция и алгоритм ведения пациентов с хронической обструктивной болезнью легких. *Пульмонология*. 2023; 33 (5): 587–594. DOI: 10.18093/0869-0189-2023-33-5-587-594.
6. Чучалин А.Г., Авдеев С.Н., Айсанов З.Р. и др. Хроническая обструктивная болезнь легких: федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению. *Пульмонология*. 2022; 32 (3): 356–392. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-3-356-392.
7. Косяков А.В. Комплексный подход к оценке функционального статуса пациентов с хронической обструктивной болезнью легких. *Наука молодых (Eruditio Juvenium)*. 2021; 9 (4): 553–558. DOI: 10.23888/HMJ202194553-558.
8. Рогачиков А.И., Урясьев О.М. Техника ингаляции лекарственных средств и контроль над бронхиальной астмой. *Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П.Павлова*. 2016; 24 (3): 86–91. DOI: 10.17816/PAVLOVJ2016386-91.
9. Variations in the prevalence of respiratory symptoms, self-reported asthma attacks, and use of asthma medication in the European Community Respiratory Health Survey (ECRHS). *Eur. Res. J.* 1996; 9 (4): 687–695. DOI: 10.1183/09031936.96.09040687.
10. Pasterkamp H., Kraman S., Wodicka G. Respiratory Sounds. Advances beyond the stethoscope. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1997; 156 (3, Pt 1): 974–987. DOI: 10.1164/ajrccm.156.3.9701115.
11. Andres E., Gass R., Charlux A. et al. Respiratory sound analysis in the era of evidence-based medicine and the world of medicine 2.0. *J. Med. Life*. 2018; 11 (2): 89–106. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6101681/>
12. Sarkar M., Madabhavi I., Niranjan N. Dogra M. Auscultation of the respiratory system. *Ann. Thorac. Med.* 2015; 10 (3): 158–168. DOI: 10.4103/1817-1737.160831.

13. Дмитриев А.В., Филимонова Т.А., Шаровская Г.И. Метод электронной аускультации: использование у детей с целью диагностики бронхиальной астмы. *Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П.Павлова*. 2011; 19 (2): 15–15. DOI: 10.17816/PAVLOVJ192.
14. Глотов С.И., Бяловский Ю.Ю., Жукова Л.А. и др. Многообразие вербальных и амплитудно-частотных характеристик хрипов у пациентов с бронхиальной астмой в зависимости от выраженности бронхиальной обструкции и одышки. *Пульмонология*. 2020; 30 (6): 750–755. DOI: 10.18093/0869-0189-2020-30-6-750-755.
15. Арутюнов Г.П., Колесникова Е.А., Поляков Д.В. и др. Аускультация легких: патогенетические основы формирования дыхательных шумов. *Пульмонология*. 2022; 32 (1): 118–126. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-1-118-126.
16. Malmberg L. P., Pesu L., Sovijärvi A. R. Significant differences in flow standardised breath sound spectra in patients with chronic obstructive pulmonary disease, stable asthma, and healthy lungs. *Thorax*. 1995; 50 (12): 1285–1291. DOI: 10.1136/thx.50.12.1285.
17. Gavriely N., Palti Y., Alroy G., Grotberg J.B. Measurement and theory of wheezing breath sound. *J. App. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.* 1984; 57: 481–492. DOI: 10.3390/s130607399.
18. Абросимов В.Н. Бронхиальная астма, свистящие хрипы, флаттер. Возможные взаимоотношения. *Пульмонология*. 2016; 26 (6): 719–724. DOI: 10.18093/0869-0189-2016-26-6-719-724.
19. Петров Ю.В., Глотов С.И., Абросимов В.Н. Первый опыт применения интрапульмональной электронной аускультации у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких и бронхиальной астмой. *Наука молодых (Eruditio Juvenium)*. 2015; (4): 45–49. Доступно на: <https://naukamolod.rzgm.ru/art/173>
20. Puig F., Rico F., Almendros I. et al. Vibration enhances interleukin-8 release in a cell model of snoring-induced airway inflammation. *Sleep*. 2005; 28 (10): 1312–1316. DOI: 10.1093/sleep/28.10.1312
21. Almendros I., Carreras A., Ramírez J. et al. Upper airway collapse and reopening induce inflammation in a sleep apnoea model. *Eur. Respir. J.* 2008; 32 (2): 399–404. DOI: 10.1183/09031936.00161607.
22. Akasaka K., Konno K., Ono Y. et al. Acoustical studies on respiratory sounds in asthmatic patients. *Tohoku J. Exp. Med.* 1975; 117 (4): 323–333. DOI: 10.1620/tjem.117.323.
23. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. Updated 2019. Available at: <https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2019/06/GINA-2019-main-report-June-2019-wms.pdf> / [Accessed: May 11, 2020].
24. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Pocket Guide to COPD Diagnosis, Management, and Prevention. A Guide for Health Care Professional. 2018 Report. Available at: <https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2018/02/WMS-GOLD-2018-Feb-Final-to-print-v2.pdf>
25. Айсанов З.Р., Авдеев С.Н., Архипов В.В. и др. Национальные клинические рекомендации по диагностике и лечению хронической обструктивной болезни легких: алгоритм принятия клинических решений. *Пульмонология*. 2017; 27 (1): 13–20. DOI: 10.18093/0869-0189-2017-27-1-13-20.
26. Graham B. L., Steenbruggen I., Miller M.R. et al. Standardization of spirometry 2019 update an official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2019; 200 (8): e70–88. DOI: 10.1164/rccm.201908-1590ST.
27. Ministry of Health of the Russian Federation. [Chronic obstructive pulmonary disease: Clinical guidelines]. 2023. Available at: [https://spulmo.ru/upload/kr/HOBL\\_2023\\_draft.pdf](https://spulmo.ru/upload/kr/HOBL_2023_draft.pdf) (in Russian).
28. Avdeev S.N., Leshchenko I.V., Aisanov Z.R. [New concept and algorithm for the management of patients with chronic obstructive pulmonary disease]. *Pul'monologiya*. 2023; 33 (5): 587–594. DOI: 10.18093/0869-0189-2023-33-5-587-594 (in Russian).
29. Chuchalin A.G., Avdeev S.N., Aisanov Z.R. et al. [Federal guidelines on diagnosis and treatment of chronic obstructive pulmonary disease]. *Pul'monologiya*. 2022; 32 (3): 356–392. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-3-356-392 (in Russian).
30. Kosyakov A.V. [Complex approach to assessment of functional status of patients with chronic obstructive pulmonary disease]. *Nauka molodykh (Eruditio Juvenium)*. 2021; 9 (4): 553–558. DOI: 10.23888/HMJ202194553-558 (in Russian).
31. Rogachykov A.I., Uryasev O.M. [The medication inhale technology and asthma control]. *Rossiyskiy mediko-biologicheskii vestnik im. akad. I.P.Pavlova*. 2016; 24 (3): 86–91. DOI: 10.17816/PAVLOVJ2016386-91 (in Russian).
32. Variations in the prevalence of respiratory symptoms, self-reported asthma attacks, and use of asthma medication in the European Community Respiratory Health Survey (ECRHS). *Eur. Res. J.* 1996; 9 (4): 687–695. DOI: 10.1183/09031936.96.09040687.
33. Pasterkamp H., Kraman S., Wodicka G. Respiratory Sounds. Advances beyond the stethoscope. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1997; 156 (3, Pt 1): 974–987. DOI: 10.1164/ajrccm.156.3.9701115.
34. Andres E., Gass R., Charloux A. et al. Respiratory sound analysis in the era of evidence-based medicine and the world of medicine 2.0. *J. Med. Life*. 2018; 11 (2): 89–106. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6101681/>
35. Sarkar M., Madabhavi I., Niranjan N. Dogra M. Auscultation of the respiratory system. *Ann. Thorac. Med.* 2015; 10 (3): 158–168. DOI: 10.4103/1817-1737.160831.
36. Dmitriev A.V., Filimonova T.A., Sharovskaja G.I. [The method electronic auscultatii: use children for the diagnostics of the bronchial asthma]. *Rossiyskiy mediko-biologicheskii vestnik im. akad. I.P.Pavlova*. 2011; 19 (2): 15–15. DOI: 10.17816/PAVLOVJ192 (in Russian).
37. Glotov S.I., Byalovskiy Yu.Yu., Zhukova L.A. et al. [Variety of verbal and amplitude-frequency characteristics of wheezing in patients with bronchial asthma, depending on the severity of bronchial obstruction and shortness of breath]. *Pul'monologiya*. 2020; 30 (6): 750–755. DOI: 10.18093/0869-0189-2020-30-6-750-755 (in Russian).
38. Arutyunov G.P., Kolesnikova E.A., Polyakov D.V. et al. [Lung auscultation: Pathogenic mechanisms underlying the respiratory sounds]. *Pul'monologiya*. 2022; 32 (1): 118–126 DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-1-118-126 (in Russian).
39. Malmberg L. P., Pesu L., Sovijärvi A. R. Significant differences in flow standardised breath sound spectra in patients with chronic obstructive pulmonary disease, stable asthma, and healthy lungs. *Thorax*. 1995; 50 (12): 1285–1291. DOI: 10.1136/thx.50.12.1285.
40. Gavriely N., Palti Y., Alroy G., Grotberg J.B. Measurement and theory of wheezing breath sound. *J. App. Physiol. Respir. Environ. Exerc. Physiol.* 1984; 57: 481–492. DOI: 10.3390/s130607399.
41. Абросимов В.Н. [Bronchial asthma, wheezing, flutter: probable relationships]. *Pul'monologiya*. 2016; 26 (6): 719–724. DOI: 10.18093/086901892016266719724 (in Russian).
42. Petrov Yu.V., Glotov S.I., Abrosimov V.N. First experience of intrapulmonary electronic auscultation in patients with chronic obstructive pulmonary disease and asthma. *Nauka molodykh (Eruditio Juvenium)*. 2015; (4): 45–49. Available at: <https://naukamolod.rzgm.ru/art/173> (in Russian).
43. Puig F., Rico F., Almendros I. et al. Vibration enhances interleukin-8 release in a cell model of snoring-induced airway inflammation. *Sleep*. 2005; 28 (10): 1312–1316. DOI: 10.1093/sleep/28.10.1312
44. Almendros I., Carreras A., Ramírez J. et al. Upper airway collapse and reopening induce inflammation in a sleep apnoea model. *Eur. Respir. J.* 2008; 32 (2): 399–404. DOI: 10.1183/09031936.00161607.
45. Akasaka K., Konno K., Ono Y. et al. Acoustical studies on respiratory sounds in asthmatic patients. *Tohoku J. Exp. Med.* 1975; 117 (4): 323–333. DOI: 10.1620/tjem.117.323.
46. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. Updated 2019. Available at: <https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2019/06/GINA-2019-main-report-June-2019-wms.pdf> / [Accessed: May 11, 2020].

Поступила: 12.12.23  
Принята к печати: 24.04.24

## References

1. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention. Updated 2023. Available at: <https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2023/05/GINA-2023-Full-Report-2023-WMS.pdf> [Accessed: May 01, 2023].
2. Chuchalin A.G., Avdeev S.N., Aisanov Z.R. et al. [Federal guidelines on diagnosis and treatment of bronchial asthma]. *Pul'monologiya*. 2022; 32 (3): 393–447. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-3-393-447 (in Russian).
3. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. 2023 Report. Available at: <https://goldcopd.org/2023-gold-report-2/>

24. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Pocket Guide to COPD Diagnosis, Management, and Prevention. A Guide for Health Care Professional. 2018 Report. Available at: <https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2018/02/WMS-GOLD-2018-Feb-Final-to-print-v2.pdf>
25. Aisanov Z.R., Avdeev S.N., Arkhipov V.V. et al. [National clinical guidelines on diagnosis and treatment of chronic obstructive pulmonary disease: a clinical decision-making algorithm]. *Pul'monologiya*. 2017; 27 (1): 13–20. DOI: 10.18093/0869-0189-2017-27-1-13-20 (in Russian).
26. Graham B. L., Steenbruggen I., Miller M.R. et al. Standardization of spirometry 2019 update an official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2019; 200 (8): e70–88. DOI: 10.1164/rccm.201908-1590ST.

Received: December 12, 2023

Accepted for publication: April 24, 2024

### Информация об авторах / Authors Information

**Глотов Сергей Иванович** — к. м. н., доцент, доцент кафедры факультетской терапии имени профессора В.Я.Гармаша Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (4912) 97-19-37; e-mail: sergeyglot@mail.ru (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4445-4480>)

**Sergei I. Glotov**, Candidate of Medicine, Assistant Professor, Associate Professor, Department of Faculty Therapy named after Professor V.Ya.Garmash, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional "Ryazan State Medical University", Ministry of Healthcare of the Russian Federation; tel: (4912) 97-19-37; e-mail: sergeyglot@mail.ru (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4445-4480>)

**Урясьев Олег Михайлович** — д. м. н., профессор, заведующий кафедрой факультетской терапии имени профессора В.Я.Гармаша Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (4912) 97-18-02; e-mail: uryaev08@yandex.ru (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8693-4696>)

**Oleg M. Uryasev**, Doctor of Medicine, Professor, Head of Department of Faculty Therapy named after Professor V.Ya.Garmash, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional "Ryazan State Medical University", Ministry of Healthcare of the Russian Federation; tel: (4912) 97-18-02; e-mail: uryaev08@yandex.ru (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8693-4696>)

**Бяловский Юрий Юльевич** — д. м. н., профессор, заведующий кафедрой патофизиологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (4912) 97-18-84; e-mail: b\_uu@mail.ru (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6769-8277>)

**Yuriy Yu. Byalovskiy**, Doctor of Medicine, Professor, Head of Department of Pathophysiology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional "Ryazan State Medical University", Ministry of Healthcare of the Russian Federation; tel.: (4912) 97-18-84; e-mail: b\_uu@mail.ru (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6769-8277>)

**Булатецкий Сергей Владиславович** — д. м. н., доцент, профессор кафедры патофизиологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (4912) 97-18-84; e-mail: dr\_bsv@mail.ru (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6023-7523>)

**Sergei V. Bulatetskiy**, Doctor of Medicine, Associate Professor, Professor Department of Pathophysiology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional "Ryazan State Medical University", Ministry of Healthcare of the Russian Federation; tel: (4912) 97-18-84; e-mail: b\_uu@mail.ru (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6023-7523>)

**Пonomарева Ирина Борисовна** — к. м. н., доцент, доцент кафедры факультетской терапии имени профессора В.Я.Гармаша Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (4912) 97-19-37; e-mail: docib@yandex.ru (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0273-4388>)

**Irina B. Ponomareva**, Candidate of Medicine, Assistant Professor, Associate Professor, Department of Faculty Therapy named after Professor V.Ya.Garmash, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional "Ryazan State Medical University", Ministry of Healthcare of the Russian Federation; tel: (4912) 97-19-37; e-mail: docib@yandex.ru (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0273-4388>)

### Участие авторов

**Глотов С.И.** — разработка концепции и дизайна исследования, сбор и обработка материала, анализ полученных данных, обзор литературы, написание текста

**Урясьев О.М.** — разработка концепции и дизайна исследования, редактирование

**Бяловский Ю.Ю.** — анализ полученных данных, написание текста, редактирование

**Булатецкий С.В.** — анализ полученных данных, написание текста, редактирование

**Пonomарева И.Б.** — сбор и обработка материала, обзор литературы  
Все авторы внесли существенный вклад в проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации, несут ответственность за целостность всех частей статьи.

### Authors Contribution

**Glotov S.I.** — development of research concept and design, collection and processing of the material, analysis of the data obtained, literature review, text writing

**Uryasev O.M.** — development of the concept and design of the study, editing

**Byalovskiy Yu.Yu.** — analysis of the obtained data, text writing, editing

**Bulatetskiy S.V.** — analysis of the obtained data, text writing, editing

**Ponomareva I.B.** — collection and processing of the material, literature review  
All authors made a significant contribution to the search, analysis, and preparation of the article, read and approved the final version before publication, and are responsible for the integrity of all parts of the article.