



Метод форсированных осцилляций при диагностике фибротических интерстициальных заболеваний легких

Г.В. Неклюдова^{1,2}, Н.В. Трушенко^{✉1,2}, Ю.А. Левина¹, Б.Б. Лавгинова¹, Ф.Т. Куркиева¹, Р.А. Яндиева¹, С.Н. Авдеев¹

¹ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия;

²ФГБУ «Научно-исследовательский институт пульмонологии» ФМБА России, Москва, Россия

Аннотация

Цель. Выявить функциональные особенности дыхательной системы у пациентов с интерстициальными заболеваниями легких (ИЗЛ) в зависимости от фенотипов заболевания с помощью комплексного функционального исследования легких, включающего метод форсированных осцилляций.

Материалы и методы. Проведено одноцентровое поперечное наблюдательное исследование 68 пациентов с ИЗЛ (средний возраст – 64 года, 70,6% – женщины). Диагнозы распределились следующим образом: идиопатический легочный фиброз – 12 (17,7%) пациентов, хронический гиперчувствительный пневмонит – 30 (44,1%) пациентов, неспецифическая интерстициальная пневмония – 10 (14,7%) пациентов, неклассифицируемое ИЗЛ – 16 (23,5%) пациентов. По данным компьютерной томографии фиброзные изменения выявлены у 50 (73,5%) пациентов. Всем пациентам проведено комплексное функциональное исследование легких, включающее спирометрию, бодиплетизмографию, диффузионный тест и осциллометрию (метод форсированных осцилляций).

Результаты. У пациентов с фиброзным фенотипом показатель ΔX_5 статистически значимо выше, чем у пациентов без фиброза [0,92 (0,06–1,63) гПахс/л vs 0,19 (-0,05–0,43) гПахс/л; $p=0,016$]. Также у пациентов с фиброзом значимо ниже показатели диффузионной способности легких (45,5% долж. vs 52% долж., $p=0,027$) и коэффициент диффузии (поглощения) $CO - K_{CO}$ (73% долж. vs 81,5% долж., $p=0,037$). Независимыми предикторами фиброзного фенотипа были такие показатели, как ΔX_5 (гПахс/л) (отношение шансов 6,386, 95% доверительный интервал 1,479–27,564; $p=0,013$) и K_{CO} (% долж.) [отношение шансов 0,929, 95% доверительный интервал 0,867–0,997; $p=0,040$]. ROC-анализ показал, что комбинация параметров ΔX_5 (гПахс/л) и K_{CO} (% долж.) обладает высокой диагностической ценностью для выявления фиброзного фенотипа при рестриктивных изменениях вентиляционной способности легких у больных ИЗЛ (AUC 0,817; $p<0,001$).

Заключение. При рестриктивных нарушениях вентиляционной способности легких комбинация параметров осциллометрии (ΔX_5 , гПахс/л) и диффузионного теста (K_{CO} , % долж.) улучшает диагностику фиброзного фенотипа ИЗЛ.

Ключевые слова: интерстициальное заболевание легких, осциллометрия, легочные функциональные тесты, легочный фиброз

Для цитирования: Неклюдова Г.В., Трушенко Н.В., Левина Ю.А., Лавгинова Б.Б., Куркиева Ф.Т., Яндиева Р.А., Авдеев С.Н. Метод форсированных осцилляций при диагностике фибротических интерстициальных заболеваний легких. Терапевтический архив. 2026;98(4):209–216. DOI: 10.26442/00403660.2026.04.203574

© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2026 г.

Введение

Интерстициальные заболевания легких (ИЗЛ) – гетерогенная группа заболеваний известной и неизвестной природы, характеризующаяся распространенным, как правило, двусторонним поражением респираторных отделов легких (альвеол, респираторных бронхиол) и рестриктивным паттерном нарушения вентиляционной способности легких [1–4].

В клинической практике для оценки тяжести и прогрессирования ИЗЛ наиболее часто используют спирометрию, измерение диффузионной способности легких (DLco), реже бодиплетизмографию [1, 2, 4]. Однако указанные методы имеют ряд ограничений: они не позволяют надежно дифференцировать фиброзные и нефиброзные изменения

в легочной ткани, нечувствительны к изолированному поражению мелких дыхательных путей, а их выполнение требует от пациентов значительных дыхательных усилий и тесной кооперации с медицинским персоналом [5, 6]. Проведение таких исследований может вызвать трудности и часто бывает невозможным у тяжелых пациентов с дыхательной недостаточностью, больных пожилого возраста или с недавно перенесенными острыми состояниями (инфаркт миокарда, торакальные оперативные вмешательства, пневмоторакс и др.) [6–8].

В связи с этим актуален поиск более простых и доступных методов выявления вентиляционных расстройств не-обструктивного типа, поскольку в большинстве случаев их можно считать функциональными маркерами заболева-

Информация об авторах / Information about the authors

✉Трушенко Наталья Владимировна – канд. мед. наук, доц. каф. пульмонологии института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет), науч. сотр. ФГБУ «НИИ пульмонологии». E-mail: trushenko.natalia@yandex.ru

Неклюдова Галина Васильевна – д-р мед. наук, проф. каф. пульмонологии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет), вед. науч. сотр. ФГБУ «НИИ пульмонологии»

Левина Юлия Алексеевна – аспирант каф. пульмонологии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет)

✉Natalia V. Trushenko. E-mail: trushenko.natalia@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-0685-4133

Galina V. Nekludova. ORCID: 0000-0002-9509-0867

Iuliia A. Levina. ORCID: 0000-0002-0928-2900

Forced oscillation technique in the diagnosis of fibrotic phenotype interstitial lung diseases

Galina V. Nekludova^{1,2}, Natalia V. Trushenko^{1,2}, Iuliia A. Levina¹, Baina B. Lavginova¹, Fatima T. Kurkueva¹, Rulana A. Yandieva¹, Sergey N. Avdeev¹

¹Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia;

²Federal Pulmonology Research Institute, Moscow, Russia

Abstract

Aim. To identify functional features in patients with interstitial lung diseases (ILD), depending on disease phenotypes, using the forced oscillation technique.

Materials and methods. A single-center cross-sectional observational study was conducted on 68 patients with ILD (mean age 64 years, 70.6% women). The diagnoses were distributed as follows: idiopathic pulmonary fibrosis 17.7%, chronic hypersensitivity pneumonitis 44.1%, non-specific interstitial pneumonia 14.7%, unclassified ILD 23.5%. According to Tomographia Computata data, fibrotic changes were detected in 74.1% of patients. All patients underwent comprehensive pulmonary function testing, including spirometry, body plethysmography, measurement of diffusing capacity of the lungs, and oscillometry (forced oscillation technique).

Results. The $\Delta X5$ parameter was statistically significantly higher in patients with a fibrotic phenotype than in those without fibrosis [0.92 (0.06–1.63) hPa×s/L vs 0.19 (-0.05–0.43) hPa×s/L; $p=0.016$]. Patients with fibrosis also had significantly lower for diffusing capacity of the lungs (45.5% vs 52% predicted; $p=0.027$) and CO diffusion capacity – Kco (73% vs 81.5% predicted; $p=0.037$) values. Independent predictors of the fibrotic phenotype were $\Delta X5$ (odds ratio 6.386, 95% confidence interval 1.479–27.564; $p=0.013$) and Kco (odds ratio 0.929, 95% confidence interval 0.867–0.997; $p=0.040$). ROC analysis showed that the combination of $\Delta X5$ and Kco parameters has high diagnostic value for detecting fibrosis (AUC 0.817; $p<0.001$).

Conclusion. The oscillometry parameter $\Delta X5$ and the Kco index from diffusing capacity measurement are independent predictors of a fibrotic phenotype in patients with ILD. The combination of these functional parameters improves diagnostic capabilities for detecting fibrotic changes. The FOT method provides clinically important information in patients with ILD and restrictive impairment.

Keywords: interstitial lung diseases, oscillometry, pulmonary function test, pulmonary fibrosis

For citation: Nekludova GV, Trushenko NV, Levina IuA, Lavginova BB, Kurkueva FT, Yandieva RA, Avdeev SN. Forced oscillation technique in the diagnosis of fibrotic phenotype interstitial lung diseases. *Terapevticheskiy Arkhiv* (Ter. Arkh.). 2026;98(4):209–216. DOI: 10.26442/00403660.2026.04.203574

ний легких, имеющих крайне неблагоприятный прогноз в случае их поздней диагностики. Одним из таких методов может стать метод форсированных осцилляций (ФОС) – простой в реализации неинвазивный метод оценки функции дыхания [9].

Метод ФОС позволяет оценить механические свойства всего аппарата дыхания: дыхательных путей, легочной ткани, грудной клетки. Результат измерения показывает общее сопротивление дыхательной системы, или дыхательный импеданс. С клинико-функциональных позиций информативен не столько сам показатель дыхательного импеданса, сколько его компоненты, а именно резистивное сопротивление, которое характеризует сопротивление дыхательных путей и тканей, и реактивное сопротивление (Xrs), обусловленное эластическими свойствами легких и грудной клетки, а также инерционным сопротивлением аппарата дыхания [8, 10].

Поскольку при ФОС измерения проводятся при спокойном дыхании, такой метод менее трудоемкий и более

простой, чем другие функциональные методы исследования органов дыхания.

Метод ФОС широко используется и хорошо изучен в основном при обструктивных заболеваниях легких, таких как хроническая обструктивная болезнь легких и бронхиальная астма [8, 11–15]. В то же время данные о применении осциллометрии при ИЗЛ ограничены [7, 8, 16–18].

При рестриктивном характере вентиляционных нарушений может быть выявлено снижение Xrs, повышение резонансной частоты (f_{res}), в то же время резистивный компонент общего дыхательного сопротивления (Rrs) на частоте 5 и 20 Гц и его частотная зависимость остаются в норме [6].

Несмотря на то что осциллометрия – малочувствительный метод выявления рестриктивного паттерна нарушений вентиляционной функции легких, интерес исследователей к данной методике при ИЗЛ возрастает. В ряде исследований показано, что у пациентов с ИЗЛ может наблюдаться увеличение Rrs и умеренное нарастание его

Информация об авторах / Information about the authors

Лавгинова Бaina Баатровна – аспирант каф. пульмонологии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет)

Куркьева Фатима Тамирлановна – аспирант каф. пульмонологии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет)

Яндиева Рулана Абдулазисовна – студентка VI курса Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет)

Авдеев Сергей Николаевич – акад. РАН, д-р мед. наук, проф., зав. каф. пульмонологии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет)

Baina B. Lavginova. ORCID: 0000-0003-1254-6863

Fatima T. Kurkueva. ORCID: 0000-0001-7616-1239

Rulana A. Yandieva. ORCID: 0009-0001-4102-1217

Sergey N. Avdeev. ORCID: 0000-0002-5999-2150

частотной зависимости [19, 20]. Кроме того, при ИЗЛ выявлена разница между инспираторным и экспираторным X_5 на частоте 5 Гц [21], при этом величина X_5 на входе достоверно ниже, чем на выдохе. Кроме того, ряд исследователей продемонстрировали взаимосвязь между показателями осциллометрии и параметрами спирометрии, показателем GAP (Gender Age Physiology) и структурными изменениями легочной паренхимы по данным компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки [22].

Таким образом, использование метода ФОС у пациентов с ИЗЛ – перспективное направление, которое может иметь важное клиническое значение не столько для диагностики рестриктивных вентиляционных нарушений, сколько для понимания патофизиологических особенностей заболевания и, возможно, для разграничения различных фенотипов ИЗЛ.

Цель исследования – выявление функциональных особенностей дыхательной системы у пациентов с ИЗЛ в зависимости от фенотипов заболевания с помощью комплексного функционального исследования легких, включающего метод ФОС.

Материалы и методы

Дизайн исследования

В настоящей статье представлены результаты observationalного одноцентрового поперечного исследования, в которое включены данные 68 пациентов, находящихся на стационарном лечении в клинике пульмонологии и респираторной медицины ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет). Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет) [№06-25 от 20.03.2025].

Пациенты

В исследования включались пациенты возрастом 18 лет и старше с диагнозом ИЗЛ. Диагнозы установлены в соответствии с международными и российскими клиническими рекомендациями. Окончательный диагноз подтверждался на междисциплинарном консилиуме с участием пульмонологов, рентгенологов и патологоанатомов.

Данные пациентов

В ходе исследования для анализа использованы демографические и клинические характеристики пациентов: пол, возраст, индекс массы тела. Из методов лабораторной диагностики в анализ включены данные С-реактивного белка, газового состава артериальной крови. Также использовали данные эхокардиографии – систолическое давление в легочной артерии (мм рт. ст.), систолическая экскурсия фиброзного кольца трикуспидального клапана (TAPSE, мм), индекс TAPSE/СДЛА.

Функциональное исследование легких включало проведение спирометрии, бодиплетизмографии, диффузионного теста и осциллометрии, которые выполнены на оборудовании Quark PFT (COSMED, Италия). Спирометрия и бодиплетизмография проведены в соответствии с рекомендациями Российского респираторного общества [23, 24], исследование диффузионной способности легких – в соответствии с рекомендациями ATS-ERS (American Thoracic Society and European Respiratory Society) [25], осциллометрия – согласно стандартам ERS [26]. Исследование диффузионной способности легких проводилось методом однократного вдоха монооксида углерода с задержкой дыхания.

Данные спирометрии, бодиплетизмографии и диффузионного теста представлены в виде абсолютных значений

и процентов от прогнозируемых значений (% долж.). Для этих тестов использовалась система должных величин, разработанная Европейским респираторным обществом по стандартизации легочных функциональных тестов (Global Lung function Initiative – GLI).

При выполнении осциллометрии проводили определение следующих показателей: резистивное сопротивление дыхательного импеданса (резистанс, Rrs) при частоте осцилляций 5 и 20 Гц (R5 и R20 соответственно), абсолютная частотная зависимость резистанса (R5–R20), реактивное сопротивление дыхательного импеданса (реактанс, Xrs) при частоте осцилляций 5 Гц (X5) и абсолютная разница между должным и измеренным значением X_5 ($\Delta X_5 = X_{5\text{ долж.}} - X_5$), а также f_{res} и площадь реактанса (AX).

При анализе показателей осциллометрии применены уравнения должных значений, разработанные E. Oostveen и соавт. [27]. Показатели осциллометрии расценены как отличные от нормальных при R5 \geq 150% долж., R5–R20 \geq 0,8 гПа \times с/л, $\Delta X_5 \geq 1,5$ гПа \times с/л, $f_{\text{res}} \geq 12$ Гц и AX $\geq 3,3$ гПа/л [19, 28, 29].

Статистический анализ

Описательная статистика представлена как медиана (Me) и интерквартильный размах (IQR), для качественных и категориальных переменных – абсолютные и относительные частоты. Сравнение непрерывных переменных между группами пациентов с фиброзом и без фиброза проводилось с использованием U-критерия Манна–Уитни.

С помощью метода логистической регрессии определены предикторы фиброзного паттерна ИЗЛ. Результат представлен в виде отношения шансов (ОШ) с 95% доверительным интервалом (ДИ). Для оценки диагностической значимости показателей в прогнозировании фиброзного паттерна ИЗЛ выполнен ROC-анализ. Оптимальные пороговые значения (cut-off) определялись по критерию Юдена с расчетом чувствительности и специфичности. Результаты ROC-анализа представлены в виде площади под кривой (AUC), 95% ДИ и уровня диагностической значимости p . Пороговый уровень статистической значимости принят 0,05.

Для статистической обработки данных использовали программное обеспечение IBM SPSS Statistics, version 26 (IBM Corporation, USA).

Результаты

В исследование вошли 68 пациентов с ИЗЛ, в основном преобладали женщины 48 (70,6%), средний возраст составил 64 года (55–69 лет), средний индекс массы тела – 28,3 кг/м² (25,5–33,4 кг/м²). Распределение по нозологиям: идиопатический легочный фиброз (ИЛФ) диагностирован у 12 (17,7%) пациентов, хронический гиперчувствительный пневмонит – у 30 (44,1%) пациентов, неспецифическая интерстициальная пневмония – у 10 (14,7%) пациентов, у 16 (23,5%) пациентов – неклассифицируемое ИЗЛ.

По данным КТ фиброзные изменения выявлены у 50 (73,5%) пациентов, тогда как нефиброзный фенотип – у 18 (26,5%) пациентов; паттерн обычной интерстициальной пневмонии обнаружен у 21 (30,9%) пациента, синдром «трех плотностей» – лишь у 8 (11,8%) пациентов.

По данным функционального исследования легких определялся рестриктивный паттерн нарушения вентиляционной способности: форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ) составила 65,5 (51,3–79,8) % долж., объем форсированного выдоха за 1-ю секунду (ОФV₁) – 67,5 (49,8–85,8) % долж., общая емкость легких – 61,5 (55,3–73) % долж., индекс ОФV₁/ФЖЕЛ – 85,3 (75,4–90,4) %.

Таблица 1. Основные характеристики пациентов

Table 1. Main characteristics of patients

Параметр	Показатель <i>Me</i> (IQR) / частоты
Возраст, лет	64 (55–69)
Пол (муж/жен), абс. (%)	20 (29,4) / 48 (70,6)
ИМТ, кг/м ²	28,3 (25,6–33,4)
Курение (да), абс. (%)	14 (20,6)
SpO ₂	93 (91–95)
С-реактивный белок, мг/л	8,1 (2,5–15,4)
ФЖЕЛ, % долж.	65,5 (51,3–79,8)
ОФВ ₁ , % долж.	67,5 (49,8–85,8)
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ, % долж.	85,3 (75,4–90,4)
ОЕЛ, % долж.	61,5 (55,3–73,0)
ООЛ, % долж.	57,0 (44,2–68,0)
DLco, % долж.	46,0 (36,0–56,0)
Ксо % долж.	76,0 (68,0–87,5)
pH	7,44 (7,42–7,45)
PaO ₂ , мм рт. ст.	74 (60–82)
PaCO ₂ , мм рт. ст.	39 (36–41)
PaO ₂ /FiO ₂	357 (296–390)
СДЛА, мм рт. ст.	45,0 (40,0–54,0)
TAPSE, мм	23,0 (23,0–23,0)
TAPSE/СДЛА	0,51 (0,43–0,57)
R5% долж.	97,5 (85,0–121,0)
R20% долж.	95,0 (85,0–112,0)
R5–R20, гПахс/л	0,37 (0,12–0,57)
ΔX5, гПахс/л	0,49 (0,04–1,24)
f _{res} , Гц	18,4 (15,5–20,3)
АХ, гПа/л	12,2 (6,3–19,0)
Фиброзные изменения по данным ВРКТ, %	74,1
Паттерн ОИП по данным ВРКТ, %	31,2
Синдром «трех плотностей» по данным ВРКТ, %	11,4

Примечание. Здесь и далее в табл. 2: ИМТ – индекс массы тела, SpO₂ – сатурация кислорода, ОЕЛ – общая емкость легких, ООЛ – остаточный объем легких, PaO₂ – парциальное давление кислорода в артериальной крови, PaCO₂ – парциальное давление углекислого газа в артериальной крови, PaO₂/FiO₂ – индекс оксигенации, СДЛА – систолическое давление в легочной артерии, ВРКТ – высокоразрешающая компьютерная томография; ОИП – обычная интерстициальная пневмония.

Показатель диффузионной способности легких DLco снижен до 45,5 (36,3–53) % долж. (табл. 1).

В среднем по группе увеличение R5 выявлено у 8,9% пациентов, частотная зависимость (R5–R20) определена у 12 (17,6) пациентов, при этом сравнительный анализ не выявил статистически значимые отличия показателя (R5–R20) между курильщиками и некурящими пациентами: 0,48 (0,23–0,56) гПахс/л vs 0,40 (0,17–0,68) гПахс/л ($p=0,298$) соответственно.

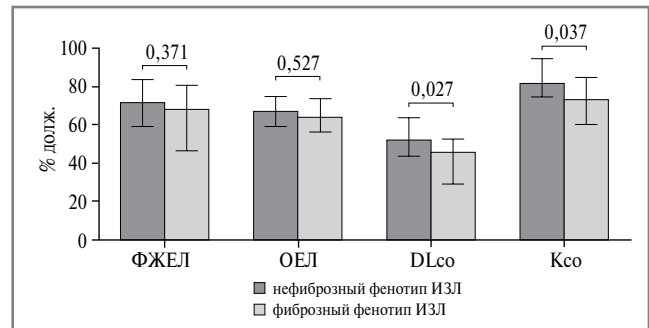


Рис. 1. Различия по показателям спирометрии, бодиплетизмографии, DLco у пациентов с фиброзными и нефиброзными фенотипами ИЗЛ.

Fig. 1. Differences in spirometry, bodyplethysmography, and DLco parameters between patients with fibrotic and non-fibrotic phenotypes.

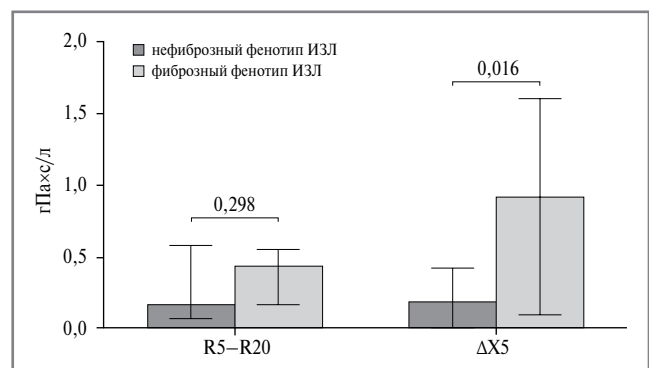


Рис. 2. Различия по показателям R5–R20, ΔX5 у пациентов с фиброзными и нефиброзными фенотипами ИЗЛ.

Fig. 2. Differences in R5–R20, DX-5 indices in patients with fibrotic and non-fibrotic phenotypes from.

Кроме того, в исследуемой когорте увеличение ΔX5 отмечалось у 16 (23,5%) пациентов, в то время как патологические отклонения f_{res} и АХ определены существенно больше – у 65 (95,6%) и 63 (92,6%) пациентов соответственно.

При сравнении пациентов с фиброзом и без него выявлены статистически значимые отличия показателей диффузионного теста: DLco, % долж. [45,5 (2,09–52,3) vs 52,0 (43,5–63,5); $p=0,027$], фактор Крога (Ксо), % долж. [73,0 (60,0–84,5) vs 81,50 (74,5–94,3); $p=0,037$] соответственно. В свою очередь, параметры спирометрии и бодиплетизмографии не продемонстрировали такие отличия (рис. 1).

Среди параметров осциллометрии определено статистически значимое отличие между группами показателя ΔX5. У пациентов с фиброзом этот параметр составил 0,92 (0,06–1,63) гПахс/л, в то время как у пациентов без фиброза – статистически значимо меньше: 0,19 (0,00–0,43) гПахс/л ($p=0,016$); рис. 2. При оценке других показателей функциональных исследований легких статистически значимых отличий между группами не выявлено (рис. 3, табл. 2).

С целью определения предикторов фиброзного фенотипа у больных ИЗЛ проведен одновариантный и многовариантный логистический регрессионный анализ. Однофакторный анализ выявил ассоциацию фиброза со следующими переменными: ΔX5, гПахс/л (ОШ 2,9, 95% ДИ 1,098–7,662; $p=0,032$), DLco, % долж. (ОШ 0,935, 95% ДИ 0,882–0,991; $p=0,024$) и Ксо, % долж. (ОШ 0,962, 95% ДИ 0,924–1,002; $p=0,063$). По результатам множественного ана-

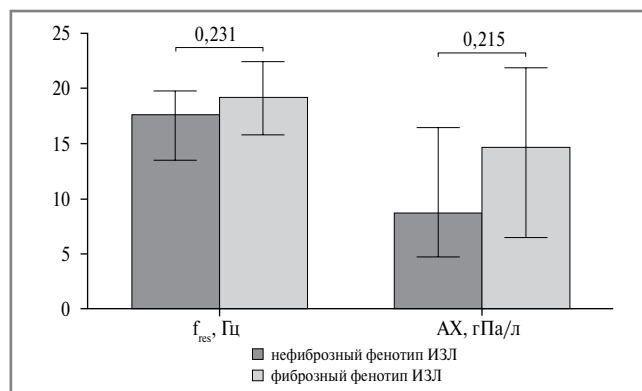


Рис. 3. Различия по показателям f_{res} и АХ у пациентов с фиброзными и нефиброзными фенотипами ИЗЛ.

Fig. 3. Differences in f_{res} and AC scores in patients with fibrotic and non-fibrotic phenotypes interstitial lung diseases

Таблица 2. Сравнительная характеристика показателей функциональных исследований легких у пациентов с фиброзом и без фиброза

Table 2. Comparative characteristics of lung functional tests in patients with and without fibrosis

Показатель	Пациенты без фиброза <i>n</i> =18 <i>Me (IQR) / частоты</i>	Пациенты с фиброзом <i>n</i> =50 <i>Me (IQR) / частоты</i>	<i>p</i>
ФЖЕЛ, % долж.	71,5 (58,8–83,3)	68,0 (46,3–80,3)	0,371
ОФВ ₁ , % долж.	73,0 (63,5–87,0)	71,0 (46,0–81,0)	0,324
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ, % долж.	86,5 (74,9–90,9)	84,6 (77,2–91,5)	0,882
ОЕЛ, % долж.	67,0 (59,0–74,5)	64,0 (56,0–73,5)	0,527
ООЛ, % долж.	57,0 (44,8–71,0)	61,0 (46,5–69,5)	0,782
DLco, % долж.	52,0 (43,5–63,5)	45,5 (29,0–52,3)	0,027
Ксо % долж.	81,5 (74,5–94,3)	73,0 (60,0–84,5)	0,037
R5 % долж.	88,0 (79,0–124,0)	97,5 (85,5–115,0)	0,656
R20 % долж.	95,0 (78,0–111,0)	91,0 (84,3–111,5)	0,778
R5–R20, гПа·с/л	0,17 (0,08–0,59)	0,44 (0,17–0,56)	0,298
ΔX5, гПа·с/л	0,19 (0,00–0,43)	0,92 (0,06–1,63)	0,016
f_{res} , Гц	17,6 (13,5–19,7)	19,2 (15,8–22,4)	0,231
АХ, гПа/л	8,7 (4,8–16,4)	14,7 (6,5–21,9)	0,215
СДЛА, мм рт. ст.	43,0 (40,0–60,0)	45,0 (39,5–51,3)	0,922

лиза независимыми предикторами фиброзного паттерна стали следующие показатели: ΔX5, гПа·с/л (ОШ 6,386, 95% ДИ 1,479–27,564; *p*=0,013) и Ксо, % долж. (ОШ 0,929, 95% ДИ 0,867–0,997; *p*=0,040).

Для оценки диагностической значимости показателей диффузионного теста и ΔX5 выполнен анализ ROC-кривых для каждого показателя в отдельности, а также для двух моделей: в 1-ю модель включены показатели ΔX5 (гПа·с/л) и Ксо (% долж.), во 2-ю модель – ΔX5 (гПа·с/л), DLco (% долж.) и Ксо (% долж.). Результаты ROC-анализа представлены в табл. 3 и на рис. 4.

Таблица 3. Предикторы фиброзного фенотипа ИЗЛ согласно результатам ROC-анализа

Table 3. Predictors of the fibrotic phenotype of interstitial lung diseases according to the results of ROC analysis

Показатель	AUC	95% ДИ	<i>p</i>
ΔX5, гПа·с/л	0,725	0,579–0,871	0,002
DLco, % долж.	0,700	0,535–0,865	0,017
Ксо, % долж.	0,690	0,545–0,835	0,010
ΔX5 (гПа·с/л) + Ксо (% долж.)	0,817	0,695–0,939	<0,001
ΔX5 (гПа·с/л) + DLco (% долж.) + Ксо (% долж.)	0,817	0,695–0,939	<0,001

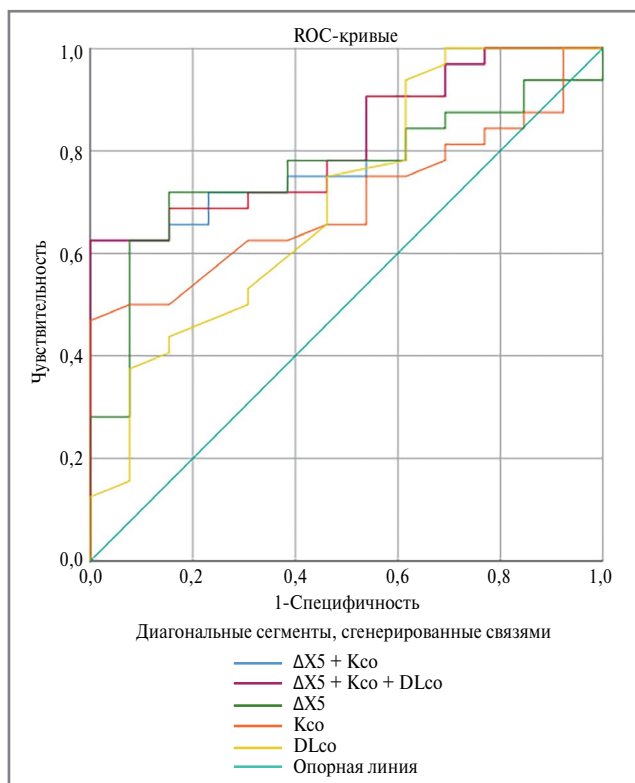


Рис. 4. ROC-анализ.

Fig. 4. ROC analysis.

Модель, включающая ΔX5 (гПа·с/л) и Ксо (% долж.), для прогнозирования фибротического фенотипа ИЗЛ при рестриктивных нарушениях характеризуется чувствительностью 0,625 и специфичностью 1,000.

Обсуждение

Важное преимущество метода по сравнению со спирометрией и бодиплетизмографией – возможность оценки эластических свойств легких. Кроме того, осцилометрия представляет собой чувствительный метод диагностики нарушения функции периферических отделов дыхательной системы – области, которую сложно оценить с помощью традиционных методов исследования легочной вентиляции. Эти возможности метода, безусловно, важны при функциональной оценке состояния легких у больных с ИЗЛ.

В настоящее время сведения о применении метода ФОС при ИЗЛ разрозненные, тем не менее ясно, что метод позволяет получить дополнительную информацию при рестриктивной патологии.

ИЗЛ представляют собой пул гетерогенных заболеваний, характеризующихся большим разнообразием структурных изменений легких, функциональными особенностями и разным течением заболевания [1, 3]. В то же время для всех вариантов ИЗЛ важно своевременное выявление прогрессирования, диагностика фиброзного фенотипа заболевания. Однако на текущий момент недостаточно данных о возможностях методов функционального исследования легких для выявления фиброзных изменений легких среди больных с рестриктивной патологией. В нашей работе предпринята попытка определить функциональные показатели, которые могут быть полезны при решении данного вопроса. Помимо традиционных функциональных легочных тестов оценены показатели осциллометрии.

В целом исследованная группа характеризовалась рестриктивными нарушениями вентиляционной способности легких и умеренными изменениями диффузионной способности легких. У такой когорты больных с помощью метода ФОС оценена частотная зависимость резистанса (R5–R20), которая в 17,6% случаев выявила патологию мелких дыхательных путей. Можно предположить, что этот феномен связан с курением, поскольку 20,6% больных – курильщики. Однако сравнительный анализ не выявил статистически значимых отличий показателя (R5–R20) между курящими и некурящими пациентами.

В работе N. Takeichi и соавт. при ИЗЛ также показано увеличение R5–R20 наряду с увеличением R5. Кроме того, отмечено увеличение f_{res} , а также более выраженные отрицательные значения X5. Снижение X_{rs} при рестриктивной патологии свидетельствует об изменении эластических свойств респираторной системы, а именно об увеличении эластической тяги легких и снижении растяжимости (податливости) легких. Сочетание патологических отклонений показателей R5, R5–R20, f_{res} и X5 N. Takeichi и соавт. объясняют увеличением жесткости и снижением податливости дыхательных путей, обусловленных перибронхиальным фиброзом в дополнение к интерстициальному фиброзу [30].

В нашем исследовании патологическое отклонение показателя X5 выявлено лишь в 23,5% случаев, тогда как увеличение f_{res} и AX отмечено более чем в 4 раза чаще (95,6 и 92,6% случаев соответственно). В проведенных ранее исследованиях показано, что параметр AX – более чувствительный показатель, характеризующий эластические свойства аппарата дыхания. К тому же он увеличивается и при патологии мелких дыхательных путей [7]. В свою очередь, параметр X5 может отражать тяжесть заболевания при ИЗЛ [7, 31, 32] и рассматриваться как предиктор прогрессирования заболевания. Так, в исследовании Y. Morigi и соавт. продемонстрирована зависимость данного показателя от балльной оценки по шкале GAP у пациентов с ИЛФ, а также выявлена его ассоциация со снижением ФЖЕЛ $\geq 10\%$ в течение 12 ± 3 мес (ОШ 0,137, 95% ДИ 0,021–0,875; $p=0,036$) [8]. В работе T. Ishikawa и соавт. также продемонстрировано прогностическое значение X5 для пациентов с ИЛФ, что, по мнению авторов, открывает перспективы для изучения роли параметров осциллометрии в оценке рисков прогрессирования и летальности у пациентов с ИЗЛ [32].

В проведенном нами исследовании именно X5 оказался значимым показателем фиброзного паттерна структурных изменений у больных ИЗЛ с рестриктивными изменениями вентиляционной способности легких. Полученный

результат подтверждается данными одного из исследований, в котором продемонстрирована связь показателя X5 с КТ-признаками легочного фиброза [33].

Результаты регрессионного и ROC-анализа продемонстрировали, что наряду с X5 показатели диффузионного теста также обладают возможностью предсказывать вероятность этих изменений. Такой результат неудивителен, поскольку ранее продемонстрирована связь X5 с показателем DLco [7, 8, 30].

При сравнении диагностической значимости функциональных параметров для выявления фиброзного фенотипа ИЗЛ показано, что наибольшей ценностью обладает параметр X5. Однако в нашем исследовании результаты демонстрируют обоснованность комплексного анализа параметра X5, измеренного при осциллометрии, и результатов диффузионного теста. Многофакторный логистический регрессионный анализ продемонстрировал, что $\Delta X5$ (гПахс/л) и Kco (% долж.) – независимые факторы, ассоциированные с фиброзным фенотипом ИЗЛ, а ROC-анализ показал, что при совместном использовании этих параметров удается улучшить диагностический поиск фиброзного паттерна ИЗЛ, и данное сочетание параметров оптимально, поскольку добавление показателя DLco (% долж.) не улучшает диагностических характеристик модели.

Заключение

Таким образом, можно с уверенностью говорить о пользе метода ФОС при наблюдении за больными ИЗЛ. Осциллометрия – не только дополнительная методика к основным функциональным легочным тестам, в комбинации с ними она может повысить диагностическую ценность функциональных тестов при ИЗЛ. Использование осциллометрии наряду с традиционными функциональными методами исследования легких может иметь важное значение для более глубокого понимания патофизиологических процессов, лежащих в основе различных вариантов ИЗЛ.

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

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

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Г.В. Неклюдова – концептуализация, методология, управление проектом, формальный анализ, написание – редактирование и рецензирование; Н.В. Трушенко – концептуализация, методология, управление проектом, формальный анализ, написание – редактирование и рецензирование; Ю.А. Левина – курация данных, исследование, написание – первоначальный вариант, визуализация; Б.Б. Лавгинова – курация данных, исследование, написание – первоначальный вариант; Ф.Т. Куркиева – концептуализация, курация данных, исследование, написание – первоначальный вариант, визуализация; Р.А. Яндиева – написание – первоначальный вариант; С.Н. Авдеев – концептуализация, надзор, управление проектом, написание – редактирование и рецензирование.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. G.V. Nekludova – conceptualization, methodology, project administration, formal analysis, writing – review & editing; N.V. Trushenko – conceptualization, methodology, project administration, formal analysis, writing – review & editing; Iu.A. Levina – data curation, investigation, writing –

original draft preparation, visualization; B.B. Lavginova – conceptualization, data curation, investigation, writing – original draft preparation; F.T. Kurkiva – conceptualization, data curation, investigation, writing – original draft preparation, visualization; R.A. Yandeva – writing – original draft preparation; S.N. Avdeev – conceptualization, supervision, project administration, writing – review & editing.

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

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

Соответствие принципам этики. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом (ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Уни-

верситет), протокол №06-25 от 20.03.2025]. Одобрение и процедура проведения протокола получали по принципам Хельсинкской декларации.

Compliance with the principles of ethics. The study protocol was approved by the local ethics committee [Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Minutes No. 06-25, 20.03.2025]. Approval and protocol procedure was obtained according to the principles of the Declaration of Helsinki.

Информированное согласие на публикацию. Пациенты подписали форму добровольного информированного согласия на публикацию медицинской информации.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

Список сокращений

ДИ – доверительный интервал
 ИЗЛ – интерстициальное заболевание легких
 ИЛФ – идиопатический легочный фиброз
 КТ – компьютерная томография
 ОФV₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду
 ОШ – отношение шансов
 ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких
 ФОС – форсированная осцилляция
 АХ – площадь реактанса

DLco – коэффициент диффузии (поглощения) СО
 f_{res} – повышение резонансной частоты
 GLI (Global Lung function Initiative) – Европейское респираторное общество по стандартизации легочных функциональных тестов
 IQR – интерквартильный размах
 KCO – фактор Крота
 Rrs – резистивное сопротивление
 Xrs – реактивное сопротивление

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Авдеев С.Н., Чикина С.Ю., Тюрин И.Е., и др. Хронические фиброзирующие интерстициальные заболевания легких с прогрессирующим фиброзным фенотипом: резолюция Междисциплинарного Совета экспертов. *Пульмонология*. 2021;31(4):505-10 [Avdeev SN, Chikina S, Tyurin IE, et al. Chronic fibrosing progressing interstitial lung disease: a decision of multidisciplinary expert board. *Pulmonologiya*. 2021;31(4):505-10 (in Russian)]. DOI:10.18093/0869-0189-2021-31-4-606-610
2. Авдеев С.Н., Айсанов З.Р., Белевский А.С., и др. Идиопатический легочный фиброз: федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению. *Пульмонология*. 2022;32(3):475-95 [Avdeev SN, Aisanov ZR, Belevskiy AS, et al. Federal clinical guidelines on diagnosis and treatment of idiopathic pulmonary fibrosis. *Pulmonologiya*. 2022;32(3):475-95 (in Russian)]. DOI:10.18093/0869-0189-2022-32-3-473-495
3. Суворова О.А., Трушенко Н.В., Лавгинова Б.Б., и др. Клинические характеристики идиопатического легочного фиброза и гиперчувствительного пневмонита в реальной клинической практике. *Consilium Medicum*. 2025;27(3):179-86 [Suvorova OA, Trushenko NV, Lavginova BB, et al. Features of the clinical picture and quality of life in patients with idiopathic pulmonary fibrosis and hypersensitivity pneumonitis. *Consilium Medicum*. 2025;27(3):179-86 (in Russian)]. DOI:10.26442/20751753.2025.3.203265
4. Авдеев С.Н., Айсанов З.Р., Визель А.А., и др. Гиперчувствительный пневмонит: федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению. *Пульмонология*. 2025;35(1):16-41 [Avdeev SN, Aisanov ZR, Vizel AA, et al. Federal clinical guidelines on diagnosis and treatment of hypersensitivity pneumonitis. *Пульмонология*. 2025;35(1):16-41 (in Russian)]. DOI:10.18093/0869-0189-2025-35-1-16-41
5. Савушкина О.И., Черняк А.В. Применение импульсной осциллометрии в клинической практике. *Практическая пульмонология*. 2015;(1):38-42 [Savushkina OI, Chernyak AV. Primenenie impulsnoi ostsilometrii v klinicheskoi praktike. *Prakticheskaya Pulmonologiya*. 2015;(1):38-42 (in Russian)]. EDN:ULPFTJ
6. Кирюхина Л.Д., Черняк А.В. Осциллометрия: клиническая значимость и применение. *Пульмонология*. 2023;33(6):798-808 [Kiryukhina LD, Chernyak AV. Oscillometry: clinical significance and applications. *Pulmonologiya*. 2023;33(6):798-808 (in Russian)]. DOI:10.18093/0869-0189-2023-33-6-798-808
7. Sugiyama A, Hattori N, Haruta Y, et al. Characteristics of inspiratory and expiratory reactance in interstitial lung disease. *Respir Med*. 2013;107(6):875-82. DOI:10.1016/j.rmed.2013.03.005
8. Mori Y, Nishikiori H, Chiba H, et al. Respiratory reactance in forced oscillation technique reflects disease stage and predicts lung physiology deterioration in idiopathic pulmonary fibrosis. *Respir Physiol Neurobiol*. 2020;275:103386. DOI:10.1016/j.resp.2020.103386
9. Савушкина О.И., Черняк А.В., Каменева М.Ю., и др. Изменение показателей импульсной осциллометрии при смешанном типе вентиляционных нарушений. *Практическая пульмонология*. 2020;(2):72-7 [Savushkina OI, Chernyak AV, Kameneva My, et al. Changes in impulse oscillometry indicators in patients with mixed type of ventilation disorders. *Clinical Pulmonology*. 2020;(2):72-7 (in Russian)]. EDN:KATRMI
10. Oostveen E, MacLeod D, Lorino H, et al.; ERS Task Force on Respiratory Impedance Measurements. The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments. *Eur Respir J*. 2003;22(6):1026-41. DOI:10.1183/09031936.03.00089403
11. Савушкина О.И., Черняк А.В., Крюков Е.В., и др. Импульсная осциллометрия в диагностике нарушений механики дыхания при хронической обструктивной болезни легких. *Пульмонология*. 2020;30(3):285-94 [Savushkina OI, Chernyak AV, Kryukov EV, et al. Impulse oscillometry in the diagnosis of respiratory mechanics defects in chronic obstructive pulmonary disease. *Pulmonologiya*. 2020;30(3):285-94 (in Russian)]. DOI:10.18093/0869-0189-2020-30-3-285-294
12. Dellacà RL, Santus P, Aliverti A, et al. Detection of expiratory flow limitation in COPD using the forced oscillation technique. *Eur Respir J*. 2004;23(2):232-40. DOI:10.1183/09031936.04.00046804
13. Paredi P, Goldman M, Alamen A, et al. Comparison of inspiratory and expiratory resistance and reactance in patients with asthma and chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax*. 2010;65(3):263-7. DOI:10.1136/thx.2009.120790
14. Shirai T, Mori K, Mikamo M, et al. Respiratory mechanics and peripheral airway inflammation and dysfunction in asthma. *Clin Exp Allergy*. 2013;43(5):521-6. DOI:10.1111/cea.12083

15. Mikamo M, Shirai T, Mori K, et al. Predictors of phase III slope of nitrogen single-breath washout in COPD. *Respir Physiol Neurobiol.* 2013;189(1):42-6. DOI:10.1016/j.resp.2013.06.018
16. van Noord JA, Clément J, Cauberghe M, et al. Total respiratory resistance and reactance in patients with diffuse interstitial lung disease. *Eur Respir J.* 1989;2(9):846-52. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2806510/> Accessed: 01.12.2025.
17. Fujii M, Shirai T, Mori K, et al. Inspiratory resonant frequency of forced oscillation technique as a predictor of the composite physiologic index in interstitial lung disease. *Respir Physiol Neurobiol.* 2015;207:22-7. DOI:10.1016/j.resp.2014.12.009
18. Савушкина О.И., Черняк А.В., Каменева М.Ю., и др. Информативность импульсной осциллометрии в выявлении вентиляционных нарушений рестриктивного типа при идиопатическом легочном фиброзе. *Пульмонология.* 2018;28(3):325-31 [Savushkina OI, Chernyak AV, Kameneva MYu, et al. An informative value of impulse oscillometry for detecting restrictive abnormalities in idiopathic pulmonary fibrosis. *Pulmonologiya.* 2018;28(3):325-31 (in Russian)]. DOI:10.18093/0869-0189-2018-3-325-331
19. Bednarek M, Grabicki M, Piorunek T, Batura-Gabryel H. Current place of impulse oscillometry in the assessment of pulmonary diseases. *Respir Med.* 2020;170:105952. DOI:10.1016/j.rmed.2020.105952
20. Кирюхина Л., Каменева М., Новикова Л. Возможности импульсной осциллометрии в диагностике рестриктивного варианта вентиляционных нарушений. *Международный научно-исследовательский журнал.* 2017;5(59) [Kiryukhina L, Kameneva M, Novikova L. Vozmozhnosti impulsnoi ostsilometrii v diagnostike restriktivnogo varianta ventilatsionnykh narushenii. *Mezhdunarodnyi Nauchno-issledovatel'skii Zhurnal.* 2017;5(59) (in Russian)]. DOI:10.23670/IRJ.2017.59.032
21. Matesanz-López C, Raboso-Moreno B, Saldaña-Pérez LE, et al. Is Lung Function Measured by Oscillometry Useful in Interstitial Lung Diseases? *Open Respir Arch.* 2023;6(1):100278. DOI:10.1016/j.opresp.2023.100278
22. Wu J, Ma J, Nguyen L, et al. Correlation of respiratory oscillometry with CT image analysis in a prospective cohort of idiopathic pulmonary fibrosis. *BMC Open Respir Res.* 2022;9(1):e001163. DOI:10.1136/bmjresp-2021-001163
23. Российское респираторное общество. Спирометрия. Клинические рекомендации, 2023 г. Режим доступа: <https://spulmo.ru/obrazovatelnye-resursy/federalnye-klinicheskie-rekomendatsii/> Ссылка активна на 01.12.2025 [Russian Respiratory Society. Clinical recommendations of Spirometry. 2023. Available at: <https://spulmo.ru/obrazovatelnye-resursy/federalnye-klinicheskie-rekomendatsii/> Accessed: 01.12.2025 (in Russian)].
24. Российское респираторное общество. Бодиплетизмография. Клинические рекомендации. 2025 г. Режим доступа: <https://spulmo.ru/obrazovatelnye-resursy/federalnye-klinicheskie-rekomendatsii/> Ссылка активна на 01.12.2025 [Russian Respiratory Society. Clinical guidelines for Bodyplethysmography. 2025. Available at: <https://spulmo.ru/obrazovatelnye-resursy/federalnye-klinicheskie-rekomendatsii/> Accessed: 01.12.2025 (in Russian)].
25. Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller MR, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur Respir J.* 2022;60(1):2101499. DOI:10.1183/13993003.01499-2021
26. King GG, Bates J, Berger KI, et al. Technical standards for respiratory oscillometry. *Eur Respir J.* 2020;55(2):1900753. DOI:10.1183/13993003.00753-2019
27. Oostveen E, Boda K, van der Grinten CP, et al. Respiratory impedance in healthy subjects: baseline values and bronchodilator response. *Eur Respir J.* 2013;42(6):1513-23. DOI:10.1183/09031936.00126212
28. Pisi R, Aiello M, Frizzelli A, et al. Detection of Small Airway Dysfunction in Asthmatic Patients by Spirometry and Impulse Oscillometry System. *Respiration.* 2023;102(7):487-94. DOI:10.1159/000531205
29. Brashier B, Salvi S. Measuring lung function using sound waves: role of the forced oscillation technique and impulse oscillometry system. *Breathe (Sheff).* 2015;11(1):57-65. DOI:10.1183/20734735.020514
30. Takeichi N, Yamazaki H, Fujimoto K. Comparison of impedance measured by the forced oscillation technique and pulmonary functions, including static lung compliance, in obstructive and interstitial lung disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2019;14:1109-18. DOI:10.2147/COPD.S198030
31. Yamamoto Y, Hirata H, Shiroyama T, et al. Respiratory Impedance is Associated with Ventilation and Diffusing Capacity in Patients with Idiopathic Pulmonary Fibrosis Combined with Emphysema. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2022;17:1495-506. DOI:10.2147/COPD.S368162
32. Ishikawa T, Nishikiori H, Mori Y, et al. The impact of respiratory reactance in oscillometry on survival in patients with idiopathic pulmonary fibrosis. *BMC Pulm Med.* 2024;24(1):10. DOI:10.1186/s12890-023-02776-y
33. Yamamoto Y, Miki K, Tsujino K, et al. Oscillometry and computed tomography findings in patients with idiopathic pulmonary fibrosis. *ERJ Open Res.* 2020;6(4):00391-2020. DOI:10.1183/23120541.00391-2020

Статья поступила в редакцию / The article received: 08.12.2025