

# Особенности дыхательного импеданса у больных туберкулезом органов дыхания с нарушениями бронхиальной проходимости

Е.М. Жукова

Новосибирский научно-исследовательский институт туберкулеза

## Features of respiratory impedance in patients with respiratory tuberculosis with bronchial patency disorders

E. Zhukova

Novosibirsk Tuberculosis Research Institute

© Жукова Е.М., 2023 г.

### Резюме

**Цель исследования:** установить особенности отклонений дыхательного импеданса (ДИ), выявленных методом форсированных осцилляций, у пациентов с туберкулезом органов дыхания и нарушениями бронхиальной проходимости. **Материалы и методы исследования.** Показатели спирометрии и метода форсированных осцилляций изучены у 310 пациентов и у здоровых людей (группа 3, n=22). На 8, 12, 16 Гц (частоты осцилляций) измерялся ДИ: ДИ при спокойном дыхании на вдохе — Rin, ДИ при спокойном дыхании на выдохе — Rex, ДИ при дыхательном объеме — Rfo. В группе 1 (n=229) были выделены подгруппы: 1А — 62 больных с начальными obstructивными нарушениями, 1Б — 108 человек с умеренной и 1В — 59 пациентов со значительной obstructией. Пациенты без obstructивных нарушений составили группу 2 (n=81). **Результаты.** В группе 1 параметры ДИ были выше, чем в группах 2 и 3; установлена частотная зависимость ДИ. В группе 1В значения параметров ДИ, индекса частотной зависимости ДИ, число патологически измененных параметров импеданса были выше, чем в подгруппе 1А. **Заключение.** У пациентов с туберкулезом органов дыхания и obstructией установлено повышение дыхательного

импеданса и частотная зависимость его показателей. При утяжелении obstructивных нарушений возрастают дыхательный импеданс, частотная зависимость, чаще регистрируются патологически измененные параметры импеданса.

**Ключевые слова:** спирометрия, дыхательный импеданс, туберкулез легких, obstructивные нарушения

### Summary

**Aim.** To establish the features of respiratory impedance deviations detected by the method of forced oscillations in patients with tuberculosis of the respiratory organs and bronchial patency disorders. **Materials and methods.** The parameters of spirometry and the method of forced oscillations were studied in 310 patients and in healthy subjects (group 3, n=22). At 8, 12, 16 Hz (oscillation frequencies), the respiratory impedance (RI) was measured: RI with calm breathing at inspiration — Rin; RI with calm breathing at exhalation — Rex; RI with respiratory volume — Rfo. In group 1 (n=229), the following subgroups were identified: 1A subgroup — 62 patients with initial obstructive disorders, 1B — 108 people with moderate, and 1C — 59 patients with significant obstruction. Patients without obstructive

disorders comprised group 2 (n=81). **Results.** In group 1: the parameters of RI were higher than in groups 2 and 3, the frequency dependence of the RI was established. In subgroup 3B values of the parameters of RI, index of the frequency dependence of the RI, the number of RI indicators with pathological changes were higher than in 3A subgroup. **Conclusion.** In patients with tuberculosis of the respiratory organs with obstructive disorders an increase in respiratory impedance and the

frequency dependence of respiratory impedance were observed. With the aggravation of obstructive disorders, the respiratory impedance and frequency dependence increase, pathologically altered impedance parameters are more often recorded.

**Keywords:** tuberculosis of the respiratory organs, spirometry, respiratory impedance, bronchial patency disorders

## Введение

Бронхообструктивный синдром осложняет течение болезни, отрицательно влияет на результаты лечения, способствует инвалидизации пациентов с туберкулезом органов дыхания [1–5]. Для диагностики нарушений вентиляции у пациентов фтизиатрического профиля стандартно применяется простой, но надежный метод — спирометрия [5, 6]. При данном методе проводятся активные дыхательные маневры, требующие сотрудничества пациента с медицинским персоналом. В ряде случаев (при болях в грудной клетке, при наличии дренажей), препятствующих форсированным дыхательным движениям, получить данные о функциональных возможностях пациента весьма проблематично. Качество проведения спирометрии может отразиться на истинности полученных результатов [7].

Метод форсированных осцилляций и его модификация — импульсная осциллометрия используются при спокойном дыхании, не нарушающем естественный цикл дыхания, исследование необременительно для пациента. Принцип метода — измерение частотных характеристик аппарата вентиляции испытуемого в ответ на внешний осцилляторный поток [6]. Регистрируется общее сопротивление аппарата вентиляции потоку воздуха — дыхательный импеданс (ДИ) и его компоненты: аэродинамический, и тканевый (неэластическое сопротивление тканей грудной клетки и легочной паренхимы). Аэродинамический (bronхиальный) компонент отражает функцию просвета дыхательных путей, этот компонент составляет большую часть (2/3) дыхательного импеданса.

Метод форсированных осцилляций и импульсная осциллометрия длительно применяются в пульмонологии, показана их информативность при obstructивных заболеваниях органов дыхания [8–13]. Во фтизиатрии метод пока не нашел широкого применения, но имеющиеся публикации свидетельствуют о большой роли метода в обнаружении бронхообструкции [2, 14–16]. До сегодняшнего дня значимость метода фор-

сированных осцилляций в комплексной оценке механики дыхания у пациентов фтизиатрического профиля изучена недостаточно.

## Цель исследования

Установить особенности отклонений ДИ, выявленных методом форсированных осцилляций, у пациентов с туберкулезом органов дыхания и нарушениями бронхиальной проходимости.

## Материалы и методы исследования

В когортное обсервационное исследование вошли больные (n=310) туберкулезом органов дыхания (1+2 группа) в возрасте от 18 до 64 лет. У большинства (69,4%) обследуемых диагностирована инфильтративная форма. Диссеминированная форма отмечена у 9% пациентов, фиброзно-кавернозная — у 8,1%, очаговая — у 6,8%, казеозная пневмония — у 4,8%, туберкулема — у 1,9%. Распады в легких выявлены в 70% случаев. Распространенные процессы с поражением 3 и более сегментов были у 61% пациентов. 62,6% человек имели бактериовыделение, у каждого третьего — выявлена множественная лекарственная устойчивость. Исследование утверждено этическим комитетом ФГБУ «ННИИТ» Минздрава России. У всех участников исследования получено информированное согласие.

Функциональные возможности пациентов оценивались путем проведения спирометрии и метода форсированных осцилляций на спироанализаторе Custo Vit. Снижение скоростных показателей форсированного выдоха в диапазоне 59–40% должных величин расценивали как умеренную обструкцию бронхов, 39–20% должных величин — как значительную обструкцию бронхиального дерева.

На 8, 12, 16 Гц (частоты осцилляций) измерялся дыхательный импеданс (ДИ): ДИ при спокойном дыхании на вдохе —  $R_{in}$ , ДИ при спокойном дыхании на выдохе —  $R_{ex}$ , ДИ при дыхательном объеме —  $R_{fo}$ . Данные измерения показателей ДИ оценивали в соответствии с разработанными критериями [2]. Обследованы здо-

ровые люди (группа 3, n=22). Рассчитывали индекс частотной зависимости ДИ — отношение (в %) разности ДИ на частоте 8 и 16 Гц к импедансу при 8 Гц. В группе здоровых людей индекс частотной зависимости Rin — 3,0%; Rex — 4,6%; Rfo — 4,1%.

В группу 1 вошли пациенты (n=229) с обструктивными нарушениями, выявленными спирометрией, методом форсированных осцилляций. Пациенты группы 1 по степени обструкции были разделены на три подгруппы. В подгруппу 1А «начальной бронхообструкцией» вошли пациенты (n=62) с отклонениями параметров ДИ (с нормальными показателями спирометрии). В 1Б подгруппу (n=108) включены лица с умеренной бронхообструкцией, в 1В (n=59) — со значительной. В группу 2 вошли пациенты (n=81) без вентиляционных нарушений.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием стандартного пакета программ Microsoft Excel 2007, Statistica 6.0. Определяли такие статистические показатели, как средняя арифметическая величин (M), стандартное отклонение (m), стандартная ошибка средней (σ). При выполнении условий нормальности распределения (тест Колмогорова-Смирнова) статистическую значимость различий (p) определяли с помощью t-критерия Стьюдента,  $\chi^2$  Пирсона, точного теста Фишера (ТТФ), использовали критерий  $\chi^2$  с поправкой Йетса. Для оценки взаимосвязи изменений параметров проведен корреляционный анализ Спирмена. Различия считали статистически значимыми при p<0,05.

## Результаты исследования

Параметры ДИ у больных туберкулезом органов дыхания и у здоровых представлены на рис. 1.

В сравнении с больными без обструкции и со здоровыми у пациентов с бронхообструкцией зарегистрировано значимое повышение ДИ; а также выявлена его частотная зависимость — показатель, характеризующий неоднородность вентиляции (рис. 2). У пациентов с обструктивными вентиляционными нарушениями индексы частотной зависимости ДИ статистически значимо превышали таковые лиц группы 2 (Rin — 22%; 12%; Rex — 18%; -1%; Rfo — 18%; -0,6%) и здоровых (p<0,001). У больных без вентиляционных нарушений показатели ДИ не превышали ДИ здоровых людей, частотная зависимость ДИ не установлена.

Изучены особенности отклонений ДИ у пациентов с различной выраженностью бронхообструкции, установленной методом спирометрии (табл. 1). У больных со значительно выраженной обструкцией величины ДИ превышали таковые лиц с меньшей обструкцией (с умеренной, начальной). В подгруппе 1В в сравнении с подгруппой 1Б было больше пациентов с повышением ДИ (53 (89,8%) и 68 (63%), p=0,0001).

Проведен анализ частоты встречаемости патологически измененных показателей ДИ у пациентов подгрупп 1А, 1Б, 1В. Установлено, что у пациентов со значительно выраженной обструкцией бронхов по сравнению с пациентами с умеренной обструкцией — на 25–40% чаще и на всех исследованных частотах

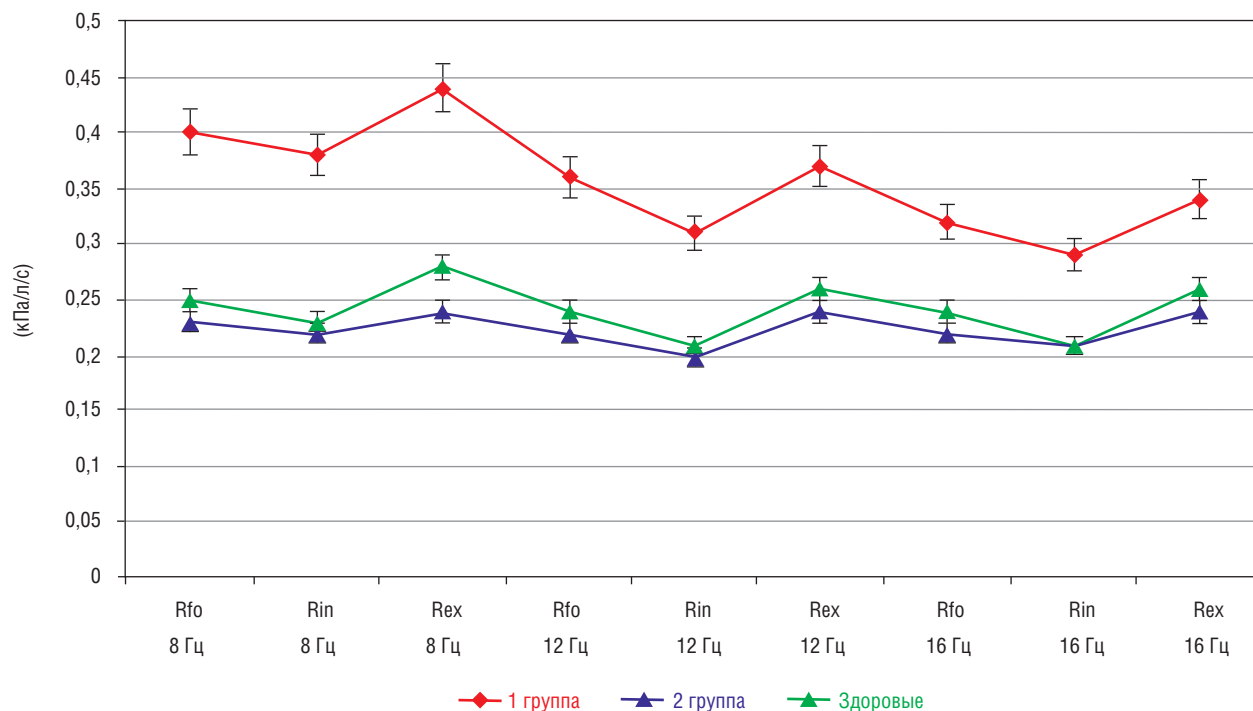


Рис. 1. Параметры ДИ у больных туберкулезом органов дыхания (группы 1, 2) и у здоровых лиц

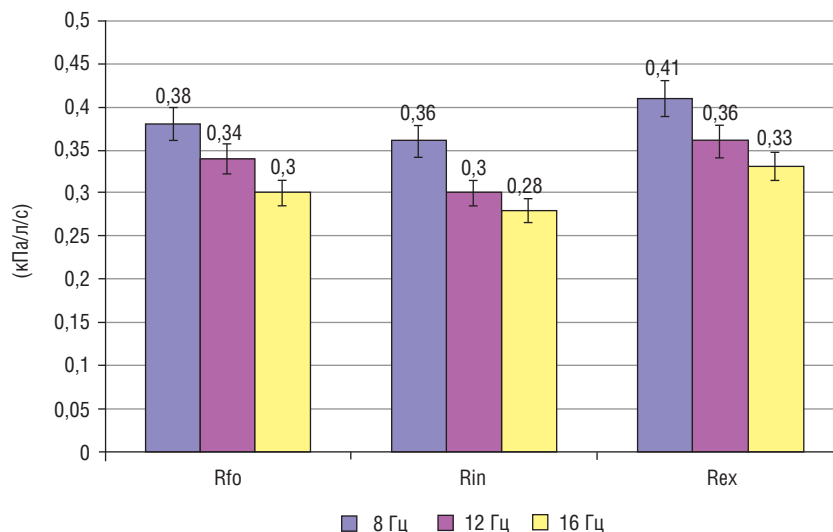


Рис. 2. Зависимость дыхательного импеданса от частоты осцилляций у больных группы 1

Таблица 1

**Показатели спирометрии, дыхательного импеданса у пациентов со значительной, умеренной, начальной обструкцией бронхов**

Показатель	Группа больных			P <sub>1-2</sub>	P <sub>2-3</sub>	P <sub>1-3</sub>	
	1B (n=59)	1Б (n=108)	1А (n=62)				
	1	2	3				
ЖЕЛ, %	68±2,7	81±1,6	91±1,7	0,001	0,001	0,001	
ФЖЕЛ, %	69±2,5	88±1,6	100±1,7	0,001	0,001	0,001	
ОФВ <sub>1</sub> , %	50±2,2	76±1,2	94±1,5	0,001	0,001	0,001	
ОФВ <sub>1</sub> /ЖЕЛ, %	56±1,5	71±0,6	80±0,9	0,001	0,001	0,001	
ПСВ, %	46±1,8	69±1,9	84±1,7	0,001	0,001	0,001	
МСВ <sub>75</sub> , %	35±1,8	69±1,8	87±1,9	0,001	0,001	0,001	
МСВ <sub>50</sub> , %	27±1,3	60±1,4	87±2,4	0,001	0,001	0,001	
МСВ <sub>25</sub> , %	25±1,3	49±1,4	87±2,5	0,001	0,001	0,001	
8 Гц	Rfo, кПа/л/с	0,5±0,02	0,3±0,01	0,4±0,01	0,01	0,001	0,001
	Rin, кПа/л/с	0,4±0,03	0,3±0,02	0,3±0,01	0,05	0,01	0,01
	Rex, кПа/л/с	0,5±0,03	0,4±0,01	0,4±0,02	0,01	0,001	0,05
12 Гц	Rfo, кПа/л/с	0,4±0,02	0,3±0,01	0,3±0,01	0,05	0,001	0,001
	Rin, кПа/л/с	0,4±0,02	0,3±0,01	0,3±0,01	0,01	0,001	0,01
	Rex, кПа/л/с	0,4±0,03	0,3±0,01	0,3±0,01	0,05	0,001	0,001
16 Гц	Rfo, кПа/л/с	0,3±0,01	0,3±0,01	0,3±0,01	0,01	0,001	0,05
	Rin, кПа/л/с	0,3±0,02	0,3±0,01	0,3±0,01	0,05	0,001	0,01
	Rex, кПа/л/с	0,4±0,02	0,3±0,01	0,3±0,01	0,05	0,01	0,05

регистрировали повышенные значения параметров ДИ (p=0,01).

В подгруппах сравнения выявлена частотная зависимость Rfo, Rin, Rex. Индексы частотной зависимости ДИ пациентов с вентиляционными нарушениями были в диапазоне от 15 до 25%, заметно (p=0,01) больше индексов у здоровых людей (рис. 3).

Индекс частотной зависимости Rfo у лиц подгруппы 1В превысил таковой пациентов подгруппы 1Б. Частотную зависимость Rfo, Rin, Rex у пациентов подгруппы 1В в сравнении с пациентами с менее выраженной обструкцией (1А и 1Б) регистрировали чаще (в 59,3; 39,8 и 37,1% случаев соответственно, p=0,02).

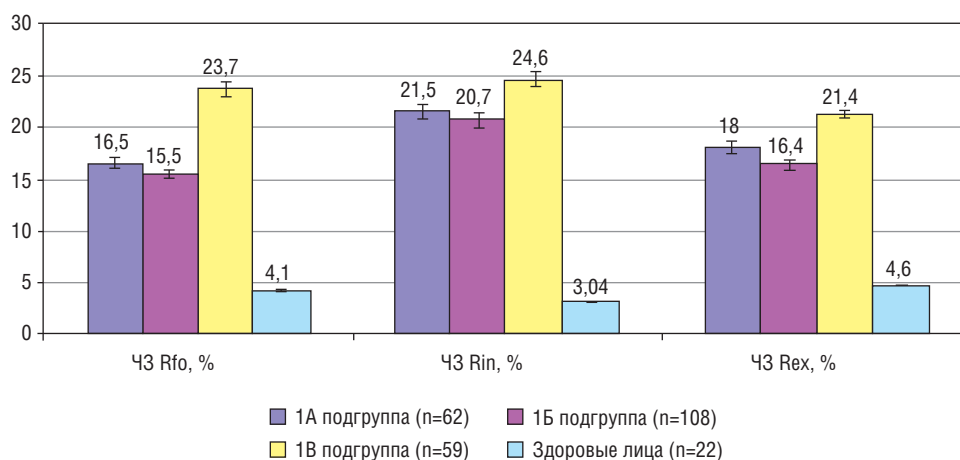


Рис. 3. Индексы частотной зависимости (ЧЗ) параметров дыхательного импеданса у пациентов подгрупп 1А, 1Б, 1В и у здоровых лиц

Исследование показало, что параметры метода форсированных осцилляций коррелируют со степенью тяжести обструкции бронхов, выявленной классическим методом исследования вентиляционной способности легких. При усугублении обструктивных нарушений (от начальной до значительной степени выраженности) — возрастает ДИ, чаще регистрируются патологически измененные параметры импеданса (Rfo, Rin, Rex) на частотах 8, 12, 16 Гц и частотная зависимость.

Показатели ДИ пациентов с начальной бронхообструкцией и пациентов без отклонений показателей спирометрии представлены в табл. 2.

У пациентов подгруппы 1А индивидуальные значения показателей спирометрии были в пределах нормы; при этом (в отличие от лиц группы 2) параметры ДИ на всех частотах исследования были повышенными, зарегистрирована зависимость ДИ от частоты

осцилляций, индексы частотной зависимости были в диапазоне 16,5–21,5% (см. рис. 3).

Следует подчеркнуть, что в подгруппу 1А вошли пациенты с нормальными значениями показателей спирометрии, у которых при применении метода форсированных осцилляций были установлены обструктивные нарушения: повышение показателей ДИ, феномен частотной зависимости его показателей. Преимущество метода форсированных осцилляций перед тестами классической механики дыхания обусловлено особенностями метода: анализируется не собственное дыхание испытуемого, а внешний осцилляторный поток, не требуется комплаенса пациента, расширяются контингенты исследуемых: дети младших возрастов, тяжелые больные.

## Заключение

Согласно проведенным исследованиям, у пациентов туберкулезом органов дыхания с обструктивными вентиляционными нарушениями установлено повышение показателей ДИ и/или наличие частотной зависимости его показателей. При утяжелении обструктивных нарушений, установленных методом спирометрии, изменяются параметры метода форсированных осцилляций: возрастает ДИ, чаще регистрируются патологически измененные параметры импеданса (Rfo, Rin, Rex при 8, 12, 16 Гц) и частотная зависимость ДИ.

В группе лиц с нормальными показателями спирометрии при применении метода форсированных осцилляций были выявлены нарушения бронхиальной проходимости. С целью своевременного обнаружения обструктивной патологии у пациентов туберкулезом органов дыхания чрезвычайно важным является включение измерения ДИ методом форсированных осцилляций в комплекс исследования функции внешнего дыхания.

Таблица 2

### Показатели дыхательного импеданса у больных с начальной бронхообструкцией (подгруппа 1А) и пациентов без отклонений показателей спирометрии (группа 2), кПа/л/с

Показатель	Группа больных		P <sub>1-2</sub>	
	1А (n=62)	2 (n=81)		
8 Гц	Rfo	0,4±0,01	0,2±0,01	0,001
	Rin	0,3±0,01	0,2±0,01	0,001
	Rex	0,4±0,02	0,2±0,01	0,001
12 Гц	Rfo	0,3±0,01	0,2±0,01	0,001
	Rin	0,3±0,01	0,2±0,01	0,001
	Rex	0,3±0,01	0,2±0,01	0,001
16 Гц	Rfo	0,3±0,01	0,2±0,01	0,001
	Rin	0,3±0,01	0,2±0,01	0,001
	Rex	0,3±0,01	0,2±0,01	0,001



## Список литературы

1. Визель А.А., Алексеев А.П., Шмелев Е.И., Яушев М.Ф., Визель И.Ю. Бронхообструктивный синдром у больных туберкулезом легких: аналитический обзор литературы. Практическая пульмонология 2018; 1: 33–42 [Vizel A.A., Alekseev A.P., Shmelev E.I., Yaushhev M.F., Vizel I.Yu. Bronchial Obstruction in Patients with Pulmonary Tuberculosis: Analytical Literature Review. Practical Pulmonology 2018; 1: 33–42 (In Russ.)].
2. Жукова Е.М. Влияние ведущих специфических и неспецифических факторов на развитие бронхообструкции у больных туберкулезом органов дыхания. Туберкулез и болезни легких 2015; 5: 72–74 [Zhukova E.M. Impact of leading specific and non-specific factors of the development of bronchial obstruction in respiratory tuberculosis patients. Tuberculosis and Lung Diseases 2015; 5: 72–74 (In Russ.)].
3. Мордык А.В., Багисшева Н.В., Вершинина М.В. Курение, хроническая обструктивная болезнь легких и туберкулез: составляющие проблемы: монография. Омск, 2018. 126 с. [Mordyk A.V., Bagisheva N.V., Vershinina M.V. Smoking, chronic obstructive pulmonary disease and tuberculosis: components of the problem: monograph. Omsk, 2018, 126 p (In Russ.)].
4. Шмелев Е.И., Куклина Г.М., Якимова М.А., Шмелева Н.М., Пунга В.В. Туберкулез легких и сопутствующие заболевания респираторной системы. Пульмонология 2010; 5: 38–40 [Shmelev E.I., Kuklina G.M., Yakimova M.A., Shmeleva N.M., Punga V.V. Pulmonary tuberculosis and underlying respiratory pathology. Pulmonology 2010; 5: 38–40 (In Russ.)].
5. Choi C.J., Choi W.S., Lee S.Y. et al. The Definition of Past Tuberculosis Affects the Magnitude of Association between Pulmonary Tuberculosis and Respiratory Dysfunction: Korea National Health and Nutrition Examination Survey, 2008–2012. J. Korean Med. Sci. 2017; 32 (5): 789–795. doi: 10.3346/jkms.2017.32.5.789.
6. Bickel S., Popler J., Lesnick B. et al. Impulse Oscillometry Interpretation and Practical Applications. Chest 2014; 146 (3): 841–847. doi: 10.1378/chest.13-1875.
7. Чушкин М.И., Попова Л.А., Отс О.Н., Стручков П.В. Стандартизация спирометрии: как улучшить результат. Туберкулез и болезни легких 2019; 97 (2): 26–32 [Chushkin M.I., Popova L.A., Ots O.N., Struchkov P.V. Standardization of spirometry: how to improve the result. Tuberculosis and Lung Diseases 2019; 97 (2): 26–32 (In Russ.)]. doi: 10.21292/2075-1230-2019-97-2-26-32.
8. Савушкина О.И., Черняк А.В. Применение импульсной осциллометрии в клинической практике. Практическая пульмонология 2015; 1: 38–42 [Savushkina O.I., Chernyak A.V. Application of pulse oscillometry in clinical practice. Practical pulmonology 2015; 1: 38–42 (In Russ.)].
9. Савушкина О.И., Черняк А.В., Крюков Е.В. Возможности импульсной осциллометрии в диагностике дисфункции мелких дыхательных путей у больных бронхиальной астмой. Медицинский альянс 2020; 8 (2): 72–78 [Savushkina O.I., Chernyak A.V., Kryukov E.V. Possibilities of pulse oscillometry in the diagnosis of small airway dysfunction in patients with bronchial asthma. Medicinskij al'yans 2020; (2): 72–78 (In Russ.)].
10. Савушкина О.И., Черняк А.В., Крюков Е.В., Зайцев А.А. Применение импульсной осциллометрии для диагностики функциональных нарушений внешнего дыхания у больных раком легких в пожилом и старческом возрасте. Медицинский альянс 2020; 8 (1): 69–84 [Savushkina O.I., Cherniak A.V., Kryukov E.V., Zaytsev A.A. The Impulse oscillometry in the diagnosis of respiratory mechanics defects in elderly patients with lung cancer. Medicinskij al'yans 2020; (1): 69–84 (In Russ.)].
11. Черняк А.В. Функциональные методы диагностики патологии мелких дыхательных путей. Пульмонология и аллергология 2013; 1: 36–41 [Chernyak A.V. Functional methods of diagnosis of pathology of small respiratory tract. Pulmonology and allergology 2013; 1: 36–41 (In Russ.)].
12. Nakagawa M., Hattori N., Haruta Y. et al. Effect of increasing respiratory rate on airway resistance and reactance in COPD patients. Respirology 2015; 20: 87–94. doi: 10.1111/resp.12387.
13. Piorunek T., Kostrzewska M., Cofta S. et al. Impulse oscillometry in the diagnosis of airway resistance in chronic obstructive pulmonary disease. Adv. Exp. Med. Biol. 2015; 838: 47–52.
14. Володич О.С., Кирюхина Л.Д., Денисова Н.В., Нефедова Н.Г., Аветисян А.О., Кудряшов Г.Г., Арчакова Л.И., Яблонский П.К. Осцилляционная механика аппарата вентиляции в раннем послеоперационном периоде у пациентов, оперированных по поводу туберкулеза легких. Медицинский альянс 2019; 7 (4): 30–38 [Volodich O.S., Kiryukhina L.D., Denisova N.V., Nefedova N.G., Avetisyan A.O., Kudryashov G.G., Archakova L.I., Yablonskiy P.K. The impulse oscillometry technique in patients with pulmonary tuberculosis in pre- and post-operative surgical treatment. Medicinskij al'yans 2019; (4): 30–38 (In Russ.)].
15. Володич О.С., Кирюхина Л.Д., Гаврилов П.В., Журавлев В.Ю., Арчакова Л.И. Диагностика вентиляционных нарушений у больных туберкулезом легких методом импульсной осциллометрии: клинико-функциональные параллели. Туберкулез и социально значимые заболевания 2017; 3: 16–20 [Volodich O.S., Kiryukhina L.D., Gavrilov P.V., Zhuravlev V.Y., Archakova L.I. Diagnostics of ventilation disorders in patients with pulmonary tuberculosis by impulse oscillometry: clinical and functional parallels. Tuberculosis and socially significant diseases 2017; 3: 16–20 (In Russ.)].
16. Кирюхина Л.Д., Володич О.С., Денисова Н.В., Нефедова Н.Г., Ковалева С.А., Арчакова Л.И. Импульсная осциллометрия в диагностике обструктивных вентиляционных нарушений у больных туберкулезом легких. Туберкулез и болезни легких 2019; 97 (11): 34–40 [Kiryukhina L.D., Volodich O.S., Denisova N.V., Nefedova N.G., Kovaleva S.A., Archakova L.I. Impulse oscillometry in the diagnosis of obstructive ventilation disorders in pulmonary tuberculosis patients. Tuberculosis and Lung Diseases 2019; 97 (11): 34–40 (In Russ.)]. <http://doi.org/10.21292/2075-1230-2019-97-11-34-40>.

Поступила в редакцию: 05.04.2023 г.

## Сведения об авторе:

Жукова Елена Михайловна — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник Новосибирского научно-исследовательского института туберкулеза; 630040, г. Новосибирск, ул. Охотская, д. 81а; e-mail: zhukovaem@ngs.ru; ORCID 0000-0002-6156-8412.