

Информативность импульсной осциллометрии в выявлении вентиляционных нарушений рестриктивного типа при идиопатическом легочном фиброзе

О.И.Савушкина¹, А.В.Черняк², М.Ю.Каменева³, Е.В.Крюков¹, А.А.Зайцев¹

1 – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н.Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации: 105229, Москва, Госпитальная пл., 3;

2 – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства, 115682, Москва, Ореховый бульвар, 28;

3 – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации: 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6–8

Информация об авторах

Савушкина Ольга Игоревна — к. б. н., заведующая отделением исследований функции внешнего дыхания Центра функционально-диагностических исследований Федерального государственного бюджетного учреждения «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н.Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации; тел.: (499) 263-38-61; e-mail: olga-savushkina@yandex.ru

Черняк Александр Владимирович — к. м. н., заведующий лабораторией функциональных и ультразвуковых методов исследования Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства России; тел.: (917) 550-06-34; e-mail: achi2000@mail.ru

Каменева Марина Юрьевна — д. м. н., ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского центра Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П.Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; тел.: (921) 753-66-31; e-mail: kmju@mail.ru

Крюков Евгений Владимирович — д. м. н., профессор, член-корр. Российской академии наук; начальник Федерального государственного бюджетного учреждения «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н.Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации; тел.: (499) 263-03-65; e-mail: evgeniy.md@mail.ru

Зайцев Андрей Алексеевич — д. м. н., главный пульмонолог Федерального государственного бюджетного учреждения «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н.Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации; тел.: (499) 263-10-47; e-mail: a-zaicev@yandex.ru

Резюме

Идиопатический легочный фиброз (ИЛФ) является одним из наиболее часто встречающихся заболеваний из группы идиопатических интерстициальных пневмоний. При проведении легочных функциональных тестов у больных ИЛФ чаще всего выявляются уменьшение легочных объемов и снижение диффузионной способности легких. **Целью** исследования явилось изучение возможности импульсной осциллометрии (ИОМ) в диагностике вентиляционных нарушений у больных ИЛФ. **Материалы и методы.** Обследованы пациенты ($n = 72$) с рестриктивными нарушениями механики дыхания, установленными на основании спирометрического и бодиплетизмографического исследований. Пациенты были разделены на 2 группы: 1-ю группу ($n = 34$) составили больные ИЛФ, 2-ю ($n = 38$) — лица с бронхолегочной патологией, не связанной с грубыми распространенными фиброзными изменениями легочной ткани. У пациентов обеих групп проанализированы параметры спирометрии, бодиплетизмографии, диффузионного теста и ИОМ. **Результаты.** Показано, что ИОМ наиболее информативна при диагностике рестриктивных нарушений механики дыхания при ИЛФ (у 68 % пациентов с ИЛФ выявлены отклонения от нормы базовых показателей ИОМ, преимущественно по абсолютной разнице (сдвигу) между должным и измеренным значениями частоты осцилляций 5 Гц — $\Delta Xrs5$), однако является менее информативной при бронхолегочной патологии, не связанной с грубыми распространенными фиброзными изменениями легочной ткани (только у 39 % больных данной группы выявлены изменения базовых показателей ИОМ). При ИЛФ с вентиляционными нарушениями рестриктивного типа наряду с уменьшением $Xrs5$, увеличением резонансной частоты (f_{res}), сохранением в пределах нормальных значений параметров резистивного (фрикционного) компонента дыхательного импеданса (резистивного сопротивления) при частоте осцилляций 5 и 20 Гц ($Rrs5$ и $Rrs20$ соответственно) и патологической абсолютной частотной зависимостью Rrs , характерных для любой легочной патологии, обуславливающей снижение общей емкости легких $\leq 69\%$ долж., выявлена патологическая относительная частотная зависимость Rrs , а именно — $D (Rrs5 - Rrs20) / Rrs20\%$. **Заключение.** Установлено, что ИОМ может использоваться как дополнение к традиционно применяемым методам диагностики нарушений механики дыхания для выявления менее благоприятного течения вентиляционных расстройств рестриктивного типа, обусловленных грубыми, распространенными фиброзными изменениями легочной ткани.

Ключевые слова: импульсная осциллометрия, дыхательный импеданс, идиопатический легочный фиброз.

Для цитирования: Савушкина О.И., Черняк А.В., Каменева М.Ю., Крюков Е.В., Зайцев А.А. Информативность импульсной осциллометрии в выявлении вентиляционных нарушений рестриктивного типа при идиопатическом легочном фиброзе. *Пульмонология*. 2018; 28 (3): 325–331. DOI: 10.18093/0869-0189-2018-28-3-325-331

An informative value of impulse oscillometry for detecting restrictive abnormalities in idiopathic pulmonary fibrosis

Ol'ga I. Savushkina¹, Aleksandr V. Chernyak², Marina Yu. Kameneva³, Evgeniy V. Kryukov¹,
Andrey A. Zaytsev¹

1 – Academician N.N.Burdenko The Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense, Moscow, Russia: Gospital'naya pl. 3, Moscow, 105229, Russia;

2 – Federal Pulmonology Research Institute, Federal Medical and Biological Agency of Russia: Orekhovyy bul'var 28, Moscow, 115682, Russia;

3 – Academician I.P.Pavlov First Federal Saint-Petersburg State Medical University, Healthcare Ministry of Russia: ul. L'va Tolstogo 6/8, Saint-Petersburg, 197089, Russia

Author information

Ol'ga I. Savushkina, Candidate of Biology, Head of Department of Lung Function Testing, Center of Functional Diagnostic Investigations, Acad. N.N.Burdenko The Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense, Moscow, Russia; tel.: (9499) 263-38-61; e-mail: olga-savushkina@yandex.ru
Aleksandr V. Chernyak, Candidate of Medicine, Head of Laboratory of Functional and Ultra-sound Investigations; Federal Pulmonology Research Institute, Federal Medical and Biological Agency of Russia; tel.: (917) 550-06-34; e-mail: achi2000@mail.ru
Marina Yu. Kameneva, Doctor of Medicine, Leading Researcher, Research Center, Academician I.P.Pavlov First Federal Saint-Petersburg State Medical University, Healthcare Ministry of Russia; tel.: (921) 753-66-31; e-mail: kmju@mail.ru
Evgeniy V. Kryukov, Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Head of Acad. N.N.Burdenko The Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense, Moscow, Russia; tel.: (499) 263-03-65; e-mail: evgeniy.md@mail.ru
Andrey A. Zaytsev, Doctor of Medicine, Chief Pulmonologist, Acad. N.N.Burdenko The Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense, Moscow, Russia; tel.: (499) 263-10-47; e-mail: a-zaitcev@yandex.ru

Abstract

The aim of this study was to investigate a role of impulse oscillometry (IO) for diagnosis of restrictive abnormalities in patients with idiopathic pulmonary fibrosis (IPF). **Methods.** Seventy two patients with restrictive ventilatory disorders diagnosed with spirometry and body plethysmography were involved in the study. The patients were divided into two groups: the group 1 ($n = 34$) comprised IPF patients, the group 2 ($n = 38$) comprised patients with respiratory diseases without extended pulmonary fibrosis. Data of spirometry, body plethysmography, lung diffusion test, and IO were analyzed. **Results.** IO was the most informative method for diagnosis of restrictive abnormalities in IPF patients: abnormal values, predominantly ΔX_{rs5} , were found in 68% of the patients. IO was less useful in patients with non-fibrotic respiratory diseases where abnormal basic IO values were found in 39% of the patients. Decreased X_{rs5} , increased f_{res} , unchanged R_{rs5} and R_{rs20} , and abnormal absolute frequency dependence of R_{rs} were found in IPF patients with restrictive abnormalities; these changes could be seen in any respiratory disease with $TLC \leq 69\%_{pred}$. Moreover, abnormal relative frequency dependence of R_{rs} ($D(R_{rs5}-R_{rs20})/R_{rs20}\%$) was detected. **Conclusion.** IO could be used as additional method for detecting restrictive abnormalities in patients with significant fibrotic lesions of the lungs.

Key words: impulse oscillometry, respiratory impedance, idiopathic pulmonary fibrosis.

For citation: Savushkina O.I., Chernyak A.V., Kameneva M.Yu., Kryukov E.V., Zaytsev A.A. An informative value of impulse oscillometry for detecting restrictive abnormalities in idiopathic pulmonary fibrosis. *Russian Pulmonology*. 2018; 28 (3): 325–331 (in Russian). DOI: 10.18093/0869-0189-2018-28-3-325-331

Идиопатический легочный фиброз (ИЛФ) — особая форма хронической интерстициальной фиброзирующей пневмонии неизвестной этиологии. В настоящее время отмечается повышение заболеваемости ИЛФ. Согласно расчетным данным, полученным на основе результатов опроса, проведенного в крупных пульмонологических центрах России, распространенность ИЛФ в РФ составляет около 9–11 случаев на 100 тыс. населения, а заболеваемость ИЛФ в других странах — 4–6 случаев на 100 тыс. населения [1].

Морфологические изменения в легких при ИЛФ затрагивают интерстициальную легочную ткань, эндотелий капилляров и альвеолярный эпителий. Фиброзные изменения межальвеолярных перегородок и мест перехода респираторных бронхиол в альвеолы обуславливают изменения эластических свойств легкого, снижают их растяжимость. Как следствие, происходит снижение легочного объема и ухудшение диффузионной способности легких (ДСЛ).

Естественное течение ИЛФ обусловлено постепенным ремоделированием легочной ткани, в основе которого лежит прогрессирующее фибротическое повреждение. Нарастающий фиброз легких является основой прогрессирующего ухудшения функционального статуса больных вплоть до летального исхода, обусловленного дыхательной недостаточностью или другими осложнениями ИЛФ. Таким образом, оценка параметров механики дыхания у больных ИЛФ имеет важное прогностическое значение.

Для диагностики вентиляционных нарушений при ИЛФ, прогнозирования и мониторинга течения заболевания используются легочные функциональные тесты, которые обязательно должны включать измерение общей емкости легких (ОЕЛ) и ДСЛ по монооксиду углерода (DL_{CO}) методом однократного вдоха с задержкой дыхания [1].

При проведении легочных функциональных тестов у больных ИЛФ чаще всего выявляются вентиляционные нарушения рестриктивного типа с уменьшением легочных объемов и снижением ДСЛ.

Наряду с уже существующими довольно трудоемкими и дорогостоящими методами — спирометрией, бодиплетизмографией, диффузионным тестом, для диагностики нарушений функции бронхолегочной системы *E.Müller* и *J.Vogel* (1981) предложен метод импульсной осциллометрии (ИОМ), представляющий собой неинвазивный метод определения дыхательного импеданса (общего дыхательного сопротивления) и составляющих его параметров. Данный метод является необременительным для пациента (не требует его активного участия) и менее дорогостоящим по сравнению с традиционно используемыми легочными функциональными тестами.

Вместе с тем существует ряд нерешенных вопросов, в частности связанных с диагностикой рестрикции методом ИОМ. Однако публикаций, посвященных изучению данной проблемы, недостаточно [2–4].

Целью данной работы явилось изучение возможности ИОМ в диагностике нарушений механики дыхания у больных ИЛФ с рестриктивными расстройствами вентиляционной функции легких.

Материалы и методы

В многоцентровое ретроспективное исследование были включены пациенты ($n = 72$) с заболеваниями, при которых развиваются фиброзные изменения в легких и формируются вентиляционные нарушения рестриктивного типа. Все диагнозы были установлены на основании комплексного клинкорентгенологического исследования в соответствии с существующими диагностическими стандартами. В единичных случаях проводилась морфологическая

верификация диагноза. Основным методом оценки выраженности и распространенности фиброзных изменений служила компьютерная томография высокого разрешения. По нозологическому принципу все больные были разделены на 2 группы: 1-ю ($n=34$: 11 (32 %) мужчин, 23 (68 %) женщины; средний возраст — 50 ± 12 лет (24–77 года)) составили лица с ИЛФ; 2-ю ($n=38$: 29 (76 %) мужчин, 9 (24 %) женщин; средний возраст — 38 ± 17 лет (18–70 лет)) — больные с бронхолегочной патологией, также связанной с формированием легочного фиброза, но не такого распространенного и грубого, как при ИЛФ.

Распределение обследованных пациентов 2-й группы по диагнозам представлено в табл. 1.

В работе использованы современные легочные функциональные тесты: спирометрия, бодиплетизмография, диффузионный тест, ИОМ, которые проводились на установке *Master Screen Body*, *Master Screen PFT PRO* и *Master Screen IOS* (*Viasys Healthcare*, Германия). Спирометрия, бодиплетизмография, диффузионный тест выполнены с соблюдением стандартов качества исследований, рекомендованных Американским торакальным обществом (*American Thoracic Society* — ATS) и Европейским респираторным обществом (*European Respiratory Society* — ERS, 2005) [5–7]. ИОМ проводилась на основании рекомендаций *H.J. Smith et al.* [8]. ДСЛ оценивалась для СО методом однократного вдоха с задержкой дыхания и коррекцией полученных данных по уровню гемоглобина. При исследовании использовалась газовая смесь: СО — 0,25–0,28 %, гелий — 8,9–9,7 %, остальное — синтетический воздух.

По результатам проведенных исследований выполнен анализ следующих спирометрических показателей:

- форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ); объема форсированного выдоха за 1-ю секунду (ОФВ₁); отношения ОФВ₁ / жизненной емкости легких (ЖЕЛ) и ОФВ₁ / ФЖЕЛ; средней объемной скорости на участке кривой поток-объем форсированного выдоха между 25 и 75 % ФЖЕЛ (СОС_{25–75});
- статических легочных объемов и емкостей: ОЕЛ, ЖЕЛ, остаточного объема легких (ООЛ), его доли в общей емкости легких (ООЛ / ОЕЛ), внутригрудного объема газа (ВГО);

- показателей бронхиального сопротивления: общего бронхиального сопротивления ($R_{aw\text{общ.}}$), бронхиального сопротивления на выдохе ($R_{aw\text{выд.}}$), бронхиального сопротивления на вдохе ($R_{aw\text{вд.}}$), бронхиального сопротивления между потоками 0,5 л / с на вдохе и выдохе ($R_{aw0,5}$, которое отражает прежде всего проходимость центральных дыхательных путей (ДП));
- показателей ДСЛ: трансфер-фактора, скорректированного по уровню гемоглобина ($DL_{CO\text{корр.}}$), альвеолярного объема (V_A), отношения $DL_{CO\text{корр.}} / V_A$;
- показателей ИОМ: дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 Гц ($Zrs5$); резистивного (фрикционного) компонента дыхательного импеданса (резистивного сопротивления) при частоте осцилляций 5 и 20 Гц ($Rrs5$ и $Rrs20$ соответственно); реактивного компонента дыхательного импеданса (реактивного сопротивления) при частоте осцилляций 5 Гц ($Xrs5$), величина которого оценивалась по абсолютной разнице (сдвигу) между его должным и измеренным значениями ($\Delta Xrs5 = Xrs5_{\text{долж.}} - Xrs5$);
- относительной частотной зависимости (Rrs), которая рассчитывалась 2 способами ($D(Rrs5 - Rrs20) = (Rrs5 - Rrs20) / Rrs5 \times 100 \%$, или $D(Rrs5 - Rrs20) / Rrs5, \%$ и $D(Rrs5 - Rrs20) = (Rrs5 - Rrs20) / Rrs20 \times 100 \%$, или $D(Rrs5 - Rrs20) / Rrs20, \%$) и абсолютной частотной зависимости, которая рассчитывалась как разница $Rrs5$ и $Rrs20$; резонансной частоты (f_{res});
- когерентности при частоте осцилляций 5 Гц ($Co5$). Снижение $Co5 < 0,6$ рассматривалось в качестве функционального признака патологической неоднородности механических свойств аппарата вентиляции [9].

Степень выраженности выявленных изменений функциональных показателей внешнего дыхания (спирометрии, бодиплетизмографии, диффузионного теста) оценивалась с учетом требований ATS и ERS [5–7], а также Руководства по клинической физиологии дыхания [10], параметров ИОМ — по изменению базовых показателей $Rrs5$ и $Xrs5$ [11].

При интерпретации результатов спирометрии базовыми диагностическими параметрами служили ЖЕЛ, ОФВ₁, ОФВ₁ / ЖЕЛ. Степень тяжести вентиляционных нарушений оценивалась по ОФВ₁ следующим образом: ОФВ₁ > 70 %_{долж.} — легкие нарушения, 60–69 %_{долж.} — умеренные, 50–59 %_{долж.} — средней тяжести, 35–49 %_{долж.} — тяжелые, < 35 %_{долж.} — крайне тяжелые [5].

При интерпретации результатов бодиплетизмографии рестриктивные нарушения вентиляционной функции легких диагностировались при нормальных значениях индекса Тиффно и снижении ОЕЛ; по разным данным, за нижнюю границу нормы ОЕЛ принимается либо 85 %_{долж.} [10, 12], либо 80 %_{долж.} [13]. Рестриктивный тип вентиляционных нарушений диагностировался либо при снижении ОЕЛ < 80 %_{долж.}, либо если фактическое значение ОЕЛ оказывалось менее нижней границы нормы при условии одновременного снижения ЖЕЛ (< 80 %_{долж.}) и / или ООЛ (< 85 %_{долж.} [10]).

Таблица 1
Распределение пациентов 2-й группы ($n=38$) по диагнозам

Table 1
Distribution of group 2 patients according to diagnoses ($n=38$)

Диагноз	Число больных, n (%)
Внебольничная пневмония	9 (24)
Саркоидоз II стадии	8 (21)
Системная склеродермия	3 (7,8)
Неспецифическая интерстициальная пневмония	2 (5,3)
Экзогенно-аллергический альвеолит	2 (5,3)
Альвеолярный протеиноз	2 (5,3)
Периферический рак легких	2 (5,3)
Другие состояния	10 (26)

Степень снижения ОЕЛ оценивалась следующим образом: $\geq 70\%$ $\%_{\text{долж.}}$ — легкое; 69–60 $\%_{\text{долж.}}$ — умеренное; $< 60\%$ $\%_{\text{долж.}}$ — тяжелое [14].

При интерпретации результатов исследования ДСЛ показатель $DL_{\text{СОкорр.}}$ считался сниженным, если его значение оказывалось $< 80\%$ $\%_{\text{долж.}}$. При величине $DL_{\text{СОкорр.}} > 60\%$ $\%_{\text{долж.}}$ снижение расценивалось как легкое, 60–40 $\%_{\text{долж.}}$ — как умеренное, $< 40\%$ $\%_{\text{долж.}}$ — как тяжелое [5].

При оценке результатов ИОМ обструкция, связанная с патологическим процессом в центральных отделах ДП, диагностировалась в случае возрастания показателей $Rrs5$ ($> 150\%$ $\%_{\text{долж.}}$), $Rrs20$ и сохранения относительной частотной зависимости Rrs в пределах нормальных значений ($< 35\%$) независимо от способа ее расчета, или абсолютной разницы $Rrs5-Rrs20 < 0,08$ кПа·с / л. Периферическая обструкция ДП диагностировалась при повышении $Rrs5$, которое сопровождается увеличением частотной зависимости Rrs (патологическая частотная зависимость) и / или отклонением $Xrs5$ от $Xrs5_{\text{долж.}} \geq 0,15$ кПа·с / л. Генерализованная обструкция, когда в патологический процесс вовлечены все отделы ДП, диагностировалась при выявлении признаков обструкции как центральных, так и периферических ДП [9].

Таблица 2
Показатели механики дыхания и диффузионной способности легких у больных 1-й группы (n = 34)

Table 2
Data of respiratory mechanics and lung diffusion test in group 1 patients (n = 34)

Показатель	$M \pm SD$	95%-ный ДИ	Min-max
ЖЕЛ, $\%_{\text{долж.}}$	59 ± 12	54–63	32–90
ФЖЕЛ, $\%_{\text{долж.}}$	56 ± 12	52–61	31–83
ОФВ ₁ , $\%_{\text{долж.}}$	58 ± 14	53–63	29–92
ОФВ ₁ / ЖЕЛ, %	82 ± 6	80–84	73–97
ОФВ ₁ / ФЖЕЛ, %	86 ± 5	84–87	71–97
СОС _{25–75} , $\%_{\text{долж.}}$	58 ± 25	49–67	19–111
ОЕЛ, $\%_{\text{долж.}}$	61 ± 11	58–65	32–80
ВГО, $\%_{\text{долж.}}$	65 ± 17	61–69	30–112
ООЛ, $\%_{\text{долж.}}$	73 ± 23	65–81	35–120
ООЛ / ОЕЛ, $\%_{\text{долж.}}$	115 ± 27	106–124	64–204
$R_{aw\text{общ.}}$, кПа·с / л	$0,29 \pm 0,18$	0,23–0,36	0,09–1,08
$R_{aw\text{выд.}}$, кПа·с / л	$0,34 \pm 0,18$	0,27–0,40	0,09–0,99
$R_{aw\text{вд.}}$, кПа·с / л	$0,27 \pm 0,18$	0,21–0,34	0,11–1,11
$R0,5$, кПа·с / л	$0,15 \pm 0,12$	0,08–0,21	0,01–0,51
$DL_{\text{СОкорр.}}$, мл / мин / мм рт. ст.	39 ± 13	34–44	17–72
$DL_{\text{СОкорр.}} / V_A$, мл / мин / мм рт. ст. / л	69 ± 18	63–75	32–109
V_A , л	52 ± 9	49–55	25–69

Примечание: ДИ – доверительный интервал; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; СОС_{25–75} – средняя объемная скорость на участке кривой поток-объем форсированного выдоха между 25 и 75 % ФЖЕЛ; ОЕЛ – общая емкость легких; ВГО – внутригрудной объем; ООЛ – остаточный объем легких; $R_{aw\text{общ.}}$ – общее бронхиальное сопротивление; $R_{aw\text{выд.}}$ – бронхиальное сопротивление на выдохе; $R_{aw\text{вд.}}$ – бронхиальное сопротивление на вдохе; $R0,5$ – бронхиальное сопротивление при стандартной объемной скорости 0,5 л / с; $DL_{\text{СОкорр.}}$ – скорректированный показатель диффузионной способности легких по монооксиду углерода (трансфер-фактор); V_A – альвеолярный объем.

Статистическая обработка результатов выполнена методами описательной статистики с применением прикладного пакета программ *Statistica 10.0*. Описательная статистика для числового показателя представлена размером выборки (n), средним значением (M), стандартным отклонением (SD), 95%-ным доверительным интервалом (ДИ), минимальным и максимальным значениями ($min-max$). Нормальность распределения показателей проверялась с помощью критерия Стьюдента. Для оценки различий между двумя независимыми выборками проводился статистический анализ с помощью U-критерия Манна–Уитни. Корреляционный анализ проводился с использованием ранговой корреляции Спирмена. Величина уровня статистической значимости принята как $p = 0,05$.

Результаты и обсуждение

По результатам анализа параметров механики дыхания и ДСЛ у больных ИЛФ (1-я группа) показано в среднем типичное для рестриктивного типа вентиляционных расстройств снижение легочных объемов – ОЕЛ, ЖЕЛ, ООЛ, ВГО (табл. 2). Кроме того, были снижены показатели ФЖЕЛ, ОФВ₁ и СОС_{25–75}; при этом $R_{aw\text{общ.}}$, $R_{aw\text{вд.}}$ и $R0,5$ находились в пределах нормальных значений, тогда как значение $R_{aw\text{выд.}}$ было умеренно увеличено. Выявлено снижение показателя $DL_{\text{СОкорр.}}$ тяжелой степени, V_A и отношения $DL_{\text{СОкорр.}} / V_A$.

У 68 % пациентов 1-й группы по данным ИОМ выявлены отклонения от нормы базовых показателей (от I до IV стадии) разной степени выраженности, преимущественно $\Delta Xrs5$ (табл. 3).

Таблица 3
Показатели импульсной осциллометрии у больных 1-й группы (n = 34)

Table 3
Impulse oscillometry data in group 1 patients (n = 34)

Показатель	$M \pm SD$	95%-ный ДИ	Min-max
$Rrs5$, $\%_{\text{долж.}}$	115 ± 28	105–124	64–173
$Rrs20$, $\%_{\text{долж.}}$	93 ± 22	85–101	52–133
$D(Rrs5-Rrs20) / Rrs5$, %	30 ± 10	27–34	10–55
$D(Rrs5-Rrs20) / Rrs20$, %	47 ± 23	39–55	11–121
$Rrs5-Rrs20$	$0,13 \pm 0,07$	0,10–0,15	0,03–0,29
$\Delta Xrs5$, кПа·с / л	$0,21 \pm 0,11$	0,17–0,25	0,04–0,48
Co5	$0,70 \pm 0,06$	0,68–0,73	0,60–0,80
f_{res} , Гц	18 ± 4	17–19	10–29

Примечание: ДИ – доверительный интервал; $Rrs5$, $Rrs20$ – резистивный компонент дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 и 20 Гц соответственно; $D(Rrs5-Rrs20) / Rrs5$, $D(Rrs5-Rrs20) / Rrs20$ – частотная зависимость Rrs ; $\Delta Xrs5$ – абсолютная разница (сдвиг) между должным и измеренным значениями реактивного компонента дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 Гц; Co5 – когерентность при частоте осцилляций 5 Гц; f_{res} – резонансная частота.

При анализе данных ИОМ у больных ИЛФ с рестриктивным типом вентиляционных расстройств в среднем по группе показано следующее:

- значения $Rrs5$ и $Rrs20$ не превышали границ нормальных значений, тогда как f_{res} смещалась в об-

ласть более высоких частот, сопровождаемая увеличением ΔX_{rs5} , что согласуется с данными предыдущих исследований [2, 4];

- относительная частотная зависимость R_{rs} , а именно — $D(R_{rs5}-R_{rs20}) / R_{rs5}$ находилась в пределах нормальных значений, тогда как $D(R_{rs5}-R_{rs20}) / R_{rs20}$ и абсолютная частотная зависимость R_{rs} превышали верхнюю границу нормы;
- показатель $Co5$ находился в пределах нормальных значений, что позволяло судить об отсутствии патологической неоднородности механических свойств аппарата вентиляции у больных ИЛФ с рестриктивным типом вентиляционных нарушений, что согласуется с результатами исследования [4].

Таким образом, при ИЛФ с вентиляционными нарушениями рестриктивного типа наряду с уменьшением X_{rs5} , увеличением f_{res} , сохранением в пределах нормальных значений параметров R_{rs5} и R_{rs20} и патологической абсолютной частотной зависимостью R_{rs} , специфичных для любой легочной патологии, обуславливающей снижение $OEL \leq 69\%$ [4], характерна патологическая относительная частотная зависимость R_{rs} , а именно — $D(R_{rs5}-R_{rs20}) / R_{rs20}$, %.

Таблица 4

Показатели механики дыхания и диффузионной способности легких у больных 2-й группы (n = 38)

Table 4

Data of respiratory mechanics and lung diffusion test in group 2 patients (n = 38)

Показатель	$M \pm SD$	95%-ный ДИ	Min-max
ЖЕЛ, %доп.	74 ± 11	70–77	43–91
ФЖЕЛ, %доп.	75 ± 12	71–79	36–95
ОФВ ₁ , %доп.	75 ± 11	71–79	38–97
ОФВ ₁ / ЖЕЛ, %	81 ± 5	80–83	73–91
ОФВ ₁ / ФЖЕЛ, %	84 ± 4	82–85	78–91
СОС _{25–75} , %доп.	73 ± 16	67–78	47–109
ОЕЛ, %доп.	72 ± 7	70–75	58–82
ВГО, %доп.	68 ± 16	63–73	39–112
ООЛ, %доп.	71 ± 23	63–78	36–135
ООЛ / ОЕЛ, %доп.	95 ± 29	85–104	51–158
$R_{aw\text{общ}}$, кПа·с / л	0,31 ± 0,13	0,26–0,35	0,10–0,61
$R_{aw\text{выд}}$, кПа·с / л	0,34 ± 0,14	0,30–0,39	0,14–0,67
$R_{aw\text{вд}}$, кПа·с / л	0,25 ± 0,10	0,22–0,29	0,08–0,48
$R_{0,5}$, кПа·с / л	0,22 ± 0,12	0,18–0,26	0,03–0,48
$DL_{CO\text{корр}}$, мл / мин / мм рт. ст.	61 ± 15	56–66	28–87
$DL_{CO\text{корр}} / V_A$, мл / мин / мм рт. ст. / л	100 ± 22	93–108	43–137
V_A , л	60 ± 8	58–63	39–73

Примечание: ДИ – доверительный интервал; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; СОС_{25–75} – средняя объемная скорость на участке кривой поток–объем форсированного выдоха между 25 и 75 % ФЖЕЛ; ОЕЛ – общая емкость легких; ВГО – внутригрудной объем; ООЛ – остаточный объем легких; $R_{aw\text{общ}}$ – общее бронхиальное сопротивление; $R_{aw\text{выд}}$ – бронхиальное сопротивление на выдохе; $R_{aw\text{вд}}$ – бронхиальное сопротивление на вдохе; $R_{0,5}$ – бронхиальное сопротивление при стандартной объемной скорости 0,5 л / с; $DL_{CO\text{корр}}$ – скорректированный показатель диффузионной способности легких по монооксиду углерода (трансфер-фактор); V_A – альвеолярный объем.

При анализе параметров механики дыхания и ДСЛ у лиц с бронхолегочной патологией, не связанной с грубыми распространенными фиброзными изменениями легочной ткани (2-я группа), в среднем по группе показано типичное для рестриктивного типа вентиляционных расстройств, однако менее выраженное, чем у больных ИЛФ, снижение легочных объемов – ОЕЛ, ЖЕЛ, ООЛ, ВГО, ФЖЕЛ, ОФВ₁ (табл. 4). Показатель СОС_{25–75} оставался в пределах нормальных значений, тогда как у больных ИЛФ он был снижен. В пределах нормальных значений находились $R_{aw\text{вд}}$ и $R_{0,5}$, однако зарегистрировано умеренное увеличение $R_{aw\text{общ}}$ и $R_{aw\text{выд}}$. У больных ИЛФ показатель $R_{aw\text{общ}}$ оставался в пределах нормальных значений. Выявлено менее выраженное, чем у больных ИЛФ, снижение $DL_{CO\text{корр}}$ и V_A , тогда как отношение $DL_{CO\text{корр}} / V_A$ оставалось в пределах нормы.

Отклонения от нормы базовых показателей ИОМ разной степени выраженности (от I до III стадии) по данным ИОМ выявлены только у 39 % пациентов 2-й группы (табл. 5).

По данным анализа ИОМ у больных с бронхолегочной патологией, не связанной с грубыми распространенными фиброзными изменениями легочной ткани, и рестриктивным типом вентиляционных расстройств в среднем по группе показано, что параметры ИОМ находились в пределах нормальных значений, за исключением сдвига f_{res} в область более высоких частот.

С целью оценки взаимосвязи параметров ИОМ с показателями, традиционно используемыми для оценки вентиляционной функции легких, были рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции Спирмена. Так, в 1-й группе выявлены умеренные обратные корреляционные связи легочных объемов, таких как ОЕЛ, ВГО, ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ОФВ₁ с ΔX_{rs5} , умеренные обратные корреляционные связи ОФВ₁, СОС_{25–75} и ВГО с R_{rs5} , а также умеренная прямая корреляционная связь $R_{aw\text{общ}}$ с R_{rs5} . Во 2-й группе

Таблица 5

Показатели импульсной осциллометрии у больных 2-й группы (n = 38)

Table 5

Impulse oscillometry data in group 2 patients (n = 38)

Показатель	$M \pm SD$	95%-ный ДИ	Min-max
R_{rs5} , %доп.	114 ± 39	102–127	56–238
R_{rs20} , %доп.	108 ± 31	98–118	48–180
$D(R_{rs5}-R_{rs20}) / R_{rs5}$, %	19 ± 11	15–22	0–43
$D(R_{rs5}-R_{rs20}) / R_{rs20}$, %	25 ± 18	20–31	0–75
$R_{rs5}-R_{rs20}$	0,07 ± 0,06	0,05–0,09	0–0,23
ΔX_{rs5} , кПа·с / л	0,13 ± 0,05	0,11–0,15	0,03–0,30
$Co5$	0,80 ± 0,07	0,78–0,82	0,70–0,90
f_{res} , Гц	15 ± 5	13–16	8–27

Примечание: ДИ – доверительный интервал; R_{rs5} , R_{rs20} – резистивный компонент дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 и 20 Гц соответственно; $D(R_{rs5}-R_{rs20}) / R_{rs5}$, $D(R_{rs5}-R_{rs20}) / R_{rs20}$ – частотная зависимость R_{rs} ; ΔX_{rs5} – абсолютная разница (сдвиг) между должным и измеренным значениями реактивного компонента дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 Гц; $Co5$ – когерентность при частоте осцилляций 5 Гц; f_{res} – резонансная частота.

корреляционные связи между данными параметрами не установлены. Ни в 1-й, ни во 2-й группе статистически значимых корреляционных связей параметров ИОМ с показателями ДСЛ не получено. Таким образом, при корреляционном анализе обнаружена взаимосвязь между базовыми показателями ИОМ и большинством параметров механики дыхания в 1-й группе, и ее отсутствие — во 2-й группе.

Наличие статистически значимых различий показателей спирометрии, бодиплетизмографии, диффузионного теста, а также параметров дыхательного импеданса в двух группах оценивалось с помощью U-критерия Манна–Уитни (табл. 6).

Так, статистически значимые различия выявлены между показателями ОЕЛ, ООЛ / ОЕЛ, ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ОФВ₁, СОС_{25–75}, R0,5, DL_{СО_{корр.}}, DL_{СО_{корр.}} / V_A, V_A, Rrs20, deltaXrs5, f_{res}, Co5, а также относительной и абсолютной частотными зависимостями Rrs. Между показателями ВГО, ООЛ, Raw_{общ.}, Raw_{выд.}, Raw_{вд.}, а также Rrs5 статистически значимых различий не установлено. Таким образом, большинство параметров механики дыхания и ИОМ статистически значимо различаются в 1-й и 2-й группах. Вместе с тем по данным спирометрии и бодиплетизмографии у пациентов обеих групп выявлены вентиляционные нарушения рестриктивного типа, тогда как показатели ИОМ были в большей степени изменены у пациентов 1-й группы. Следовательно, ИОМ может использоваться как дополнение к традиционно применяемым методам диагностики нарушений механики дыхания для выявления менее благоприятного течения вентиляционных расстройств рестриктивного типа, обусловленного грубыми, распространенными фиброзными изменениями легочной ткани.

Заключение

По результатам изложенного сделаны следующие выводы:

- ИОМ наиболее информативна при диагностике рестриктивных нарушений механики дыхания при ИЛФ (отклонения от нормы базовых показателей ИОМ, преимущественно Xrs5, выявлены у 68 % пациентов с ИЛФ) и менее информативна — при бронхолегочной патологии, не связанной с грубыми распространенными фиброзными изменениями легочной ткани (только у 39 % пациентов данной группы выявлены изменения базовых показателей ИОМ);
- при ИЛФ с вентиляционными нарушениями рестриктивного типа наряду с уменьшением Xrs5, увеличением f_{res}, сохранением в пределах нормальных значений параметров Rrs5 и Rrs20 и патологической абсолютной частотной зависимостью Rrs, специфичных для любой легочной патологии, обуславливающей снижение ОЕЛ ≤ 69 %_{долж.}, характерна патологическая относительная частотная зависимость Rrs, а именно — $D(Rrs5-Rrs20) / Rrs20$ %;

Таблица 6
Статистическая значимость различий показателей спирометрии, бодиплетизмографии, диффузионного теста и импульсной осциллометрии в 1-й и 2-й группах (U-критерий Манна–Уитни; критическое значение уровня статистической значимости $p < 0,05$; $M \pm SD$)

Table 6
Statistical significance of between-group difference for parameters of spirometry, body plethysmography, lung diffusion test, and impulse oscillometry (Mann–Whitney U-test; $p < 0.05$ was considered statistically significant)

Показатель	1-я группа (n = 34)	2-я группа (n = 38)	p
ЖЕЛ, % _{долж.}	59 ± 12	74 ± 11	< 0,001
ФЖЕЛ, % _{долж.}	56 ± 12	75 ± 12	< 0,001
ОФВ ₁ , % _{долж.}	58 ± 14	75 ± 11	< 0,001
ОФВ ₁ / ЖЕЛ, %	82 ± 6	81 ± 5	0,08
ОФВ ₁ / ФЖЕЛ, %	86 ± 5	84 ± 4	0,9
СОС _{25–75} , % _{долж.}	58 ± 25	73 ± 16	< 0,001
ОЕЛ, % _{долж.}	61 ± 11	72 ± 7	< 0,001
ВГО, % _{долж.}	65 ± 17	68 ± 16	0,2
ООЛ, % _{долж.}	73 ± 23	71 ± 23	0,6
ООЛ / ОЕЛ, % _{долж.}	115 ± 27	95 ± 29	< 0,001
Raw _{общ.} , кПа·с / л	0,29 ± 0,18	0,31 ± 0,13	0,2
Raw _{выд.} , кПа·с / л	0,34 ± 0,18	0,34 ± 0,14	0,4
Raw _{вд.} , кПа·с / л	0,27 ± 0,18	0,25 ± 0,10	0,8
R0,5, кПа·с / л	0,15 ± 0,12	0,22 ± 0,12	0,01
DL _{СО_{корр.}} , мл / мин / мм рт. ст.	39 ± 13	61 ± 15	< 0,001
DL _{СО_{корр.}} / V _A , мл / мин / мм рт. ст. / л	69 ± 18	100 ± 22	< 0,001
V _A , л	52 ± 9	60 ± 8	< 0,001
Rrs5, % _{долж.}	115 ± 28	114 ± 39	0,6
Rrs20, % _{долж.}	93 ± 22	108 ± 31	0,03
D (Rrs5–Rrs20) / Rrs5, %	30 ± 10	19 ± 11	< 0,001
D (Rrs5–Rrs20) / Rrs20, %	47 ± 23	25 ± 18	< 0,001
Rrs5–Rrs20	0,13 ± 0,07	0,07 ± 0,06	< 0,001
deltaXrs5, кПа·с / л	0,21 ± 0,11	0,13 ± 0,05	0,001
Co5	0,7 ± 0,06	0,8 ± 0,07	< 0,001
f _{res} , Гц	18 ± 4	15 ± 5	0,002

Примечание: ДИ – доверительный интервал; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; СОС_{25–75} – средняя объемная скорость на участке кривой поток–объем форсированного выдоха между 25 и 75 % ФЖЕЛ; ОЕЛ – общая емкость легких; ВГО – внутригрудной объем; ООЛ – остаточный объем легких; Raw_{общ.} – общее бронхальное сопротивление; Raw_{выд.} – бронхальное сопротивление на выдохе; Raw_{вд.} – бронхальное сопротивление на вдохе; R0,5 – бронхальное сопротивление при стандартной объемной скорости 0,5 л / с; DL_{СО_{корр.}} – скорректированный показатель диффузионной способности легких по монооксиду углерода (трансфер-фактор); V_A – альвеолярный объем; Rrs5, Rrs20 – резистивный компонент дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 и 20 Гц соответственно; D (Rrs5–Rrs20) / Rrs5, D (Rrs5–Rrs20) / Rrs20 – частотная зависимость Rrs; deltaXrs5 – абсолютная разница (сдвиг) между должным и измеренным значениями реактивного компонента дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 Гц; Co5 – когерентность при частоте осцилляций 5 Гц; f_{res} – резонансная частота.

- ИОМ может использоваться как дополнение к традиционно применяемым методам диагностики нарушений механики дыхания для выявления менее благоприятного течения вентиляционных расстройств рестриктивного типа.

Конфликт интересов

Конфликт интересов отсутствует. Исследование выполнено без участия спонсоров.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest. The study was not supported.

Литература

1. Чучалин А.Г., Авдеев С.Н., Айсанов З.Р. и др. Диагностика и лечение идиопатического легочного фиброза. Федеральные клинические рекомендации. *Пульмонология*. 2016; 26 (4): 399–419. DOI: 10.18093/0869-0189-2016-26-4-399-419.
2. Кирюхина Л.Д., Каменева М.Ю., Новикова Л.Н. Возможности импульсной осциллометрии в диагностике рестриктивного варианта вентиляционных нарушений. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017; 59 (5, ч. 2): 136–141. DOI: 10.23670/IRJ.2017. 59.032.
3. Semenova E., Kameneva M., Tishkov A. et al. Relationship between the impulse oscillometry parameters and the lung damage in idiopathic pulmonary fibrosis patients. *Eur. Respir. J.* 2013; 42 (Suppl. 57): P1284.
4. Савушкина О.И., Черняк А.В., Каменева М.Ю. и др. Информативность импульсной осциллометрии в выявлении вентиляционных нарушений рестриктивного типа. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2018; 1 (67): 8–16. DOI: 10.12737/article_5a9f258fe6d932.79474351.
5. Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V. et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (5): 948–968. DOI: 10.1183/09031936.05.00035205.
6. Wanger J., Clausen J.L., Coates A. et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (3): 511–522. DOI: 10.1183/09031936.05.00035005.
7. MacIntyre N., Crapo R.O., Viegi G. et al. Standardisation of the single-breath determination of carbon monoxide uptake in the lung. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (4): 720–735. DOI: 10.1183/09031936.05.00034905.
8. Smith H.J., Reinhold P., Goldman M.D. Forced oscillation technique and impulse oscillometry. In: *Lung Function Testing: European Respiratory Society Monograph*. Sheffield, England: European Respiratory Society; 2005: 72–105.
9. Каменева М.Ю., Савушкина О.И., Черняк А.В. Импульсная осциллометрия. В кн.: Савушкина О.И., Черняк А.В., ред. Легочные функциональные тесты: от теории к практике. Руководство для врачей. М.: Стром; 2017: 121–148.
10. Шик Л.Л., Канаев Н.Н., ред. Руководство по клинической физиологии дыхания. Ленинград: Медицина; 1980.
11. Winkler J., Hagert-Winkler A., Wirtz H., Hoheisel G. Die moderne Impulsoszillometrie im Spektrum lungenfunktioneller Messmethoden. *Pneumologie*. 2009; 63 (8): 461–469. DOI 10.1055/s-0029-1214938.
12. Клемент Р.Ф., Кузнецова В.К., ред. Современные проблемы клинической физиологии дыхания: Сборник научных трудов. Ленинград: Всесоюзный НИИ Пульмонологии МЗ СССР; 1987.
13. Каменева М.Ю. Оценка эффективности различных способов определения нормальных значений параметров механики дыхания при диагностике рестриктивного типа вентиляционных нарушений. *Российский семейный врач*. 2014; 18 (2): 24–28.

14. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies/American Thoracic Society. *Am. Rev. Respir. Dis.* 1991; 144 (5): 1202–1218. DOI: 10.1164/ajrccm/144.5.1202.

Поступила 05.02.18

References

1. Chuchalin A.G., Avdeev S.N., Aisanov Z.R. et al. Diagnosis and Treatment of Idiopathic Pulmonary Fibrosis. Federal Guidelines. *Pul'monologiya*. 2016; 26 (4): 399–419. DOI: 10.18093/0869-0189-2016-26-4-399-419 (in Russian).
2. Kiryukhina L.D., Kameneva M.Yu., Novikova L.N. A role of impulse oscillometry for diagnosis of restrictive ventilatory disorders. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2017; 59 (5, ch. 2): 136–141. DOI: 10.23670/IRJ.2017.59.032 (in Russian).
3. Semenova E., Kameneva M., Tishkov A. et al. Relationship between the impulse oscillometry parameters and the lung damage in idiopathic pulmonary fibrosis patients. *Eur. Respir. J.* 2013; 42 (Suppl. 57): P1284.
4. Savushkina O.I., Chernyak A.V., Kameneva M.Yu. et al. An informative value of impulse oscillometry in detecting restrictive ventilatory disorders. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya*. 2018; 1 (67): 8–16. DOI: 10.12737/article_5a9f258fe6d932.79474351 (in Russian).
5. Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V. et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (5): 948–968. DOI: 10.1183/09031936.05.00035205.
6. Wanger J., Clausen J.L., Coates A. et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (3): 511–522. DOI: 10.1183/09031936.05.00035005.
7. MacIntyre N., Crapo R.O., Viegi G. et al. Standardisation of the single-breath determination of carbon monoxide uptake in the lung. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (4): 720–735. DOI: 10.1183/09031936.05.00034905.
8. Smith H.J., Reinhold P., Goldman M.D. Forced oscillation technique and impulse oscillometry. In: *Lung Function Testing: European Respiratory Society Monograph*. Sheffield, England: European Respiratory Society; 2005: 72–105.
9. Kameneva M.Yu., Savushkina O.I., Chernyak A.V. Impulse oscillometry. In: Savushkina O.I., Chernyak A.V., eds. *Lung Function Tests: From Theory To Practice. Practical Handbook*. Moscow: Strom; 2017: 121–148 (in Russian).
10. Shik L.L., Kanayev N.N., eds. *Clinical Respiratory Physiology. A Handbook*. Leningrad: Meditsina; 1980 (in Russian).
11. Winkler J., Hagert-Winkler A., Wirtz H., Hoheisel G. Die moderne Impulsoszillometrie im Spektrum lungenfunktioneller Messmethoden. *Pneumologie*. 2009; 63 (8): 461–469. DOI 10.1055/s-0029-1214938.
12. Klement R.F., Kuznetsova V.K. (eds.). Current problems of clinical respiratory physiology. Collected scientific papers. Leningrad: Vsesoyuznyy NII Pul'monologii MZ SSSR; 1987 (in Russian).
13. Kameneva M.Yu. Efficacy of different methods to determine predictive values of parameters of respiratory mechanics for diagnosis of restrictive ventilatory disorders. *Rossiyskiy semeynyy vrach*. 2014; 18 (2): 24–28 (in Russian).
14. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies/American Thoracic Society. *Am. Rev. Respir. Dis.* 1991; 144 (5): 1202–1218. DOI: 10.1164/ajrccm/144.5.1202.

Received February 05, 2018