

# Импульсная осциллометрия в диагностике нарушений механики дыхания при хронической обструктивной болезни легких

О.И. Савушкина<sup>1</sup>, А.В. Черняк<sup>2,3</sup>, Е.В. Крюков<sup>1</sup>, А.А. Зайцев<sup>1</sup>, Г.В. Неклюдова<sup>2</sup>, Т.Л. Пашкова<sup>2</sup>

1 – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н.Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации; 105094, Москва, Госпитальная пл., 3;

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

3 – Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени Д.Д.Плетнева Департамента здравоохранения города Москвы»; 105077, Москва, ул. 11-я Парковая, 32

## 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 (SPIN-код: 2988-8700; Author ID: 964904; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7486-4990>)

**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, врач функциональной диагностики отделения функциональной и ультразвуковой диагностики Государственного бюджетного учреждения здравоохранения города Москвы «Городская клиническая больница имени Д.Д.Плетнева Департамента здравоохранения города Москвы»; тел.: (495) 465-53-84; e-mail: achi2000@mail.ru (SPIN-код: 9328-6440; Author ID: 687383; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2001-5504>)

**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 (SPIN-код: 3900-3441; Author ID: 879052; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8396-1936>)

**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 (SPIN-код: 6549-5154; Author ID: 217005; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0934-7313>)

**Неклюдова Галина Васильевна** – д. м. н., ведущий научный сотрудник лаборатории функциональных и ультразвуковых методов исследования Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства; тел.: (495) 465-53-84; e-mail: nekludova\_gala@mail.ru (SPIN-код: 8956-9125; Author ID: 394036; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9509-0867>)

**Пашкова Татьяна Леонидовна** – к. м. н., старший научный сотрудник лаборатории функциональных и ультразвуковых методов исследования Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства; тел.: (495) 465-53-84; e-mail: tanya.pashkova.33@mail.ru

## Резюме

Импульсная осциллометрия (ИОМ) является инновационным методом диагностики механики дыхания. Однако остается много неизученных и спорных вопросов, касающихся изменений параметров ИОМ, в частности, при хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ). Целью исследования явилось сравнение ИОМ с традиционными легочными функциональными методами и изучение ее возможностей при диагностике нарушений механики дыхания у больных ХОБЛ. **Материалы и методы.** Проведено поперечное когортное исследование, в которое были включены пациенты с ХОБЛ ( $n = 146$ : 137 (94 %) мужчин, 9 (6 %) женщин; средний возраст –  $65 \pm 9$  лет) из 2 медицинских учреждений Москвы – Федерального государственного бюджетного учреждения «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н.Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации и Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства. Больные были разделены на 4 группы в зависимости от степени тяжести ХОБЛ согласно критериям Глобальной стратегии диагностики, лечения и профилактики ХОБЛ (*Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease – GOLD*): I стадия диагностирована у 8 пациентов, II – у 43, III – у 54, IV – у 41. Проанализированы параметры ИОМ (резистивного сопротивления на частоте осцилляций 5 Гц ( $R_{rs5}$ ) и 20 Гц ( $R_{rs20}$ ), ( $R_{rs5} - R_{rs20}$ ), реактивного сопротивления на частоте осцилляций 5 Гц ( $Xrs5$ ), площадь реактанта ( $A_x$ ), резонансная частота ( $f_{res}$ ); спирометрии – объема форсированного выдоха за 1-ю секунду (ОФВ<sub>1</sub>), форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) и ОФВ<sub>1</sub> / ФЖЕЛ; бодиплетизмографии (общая емкость легких, внутригрудной объем газа, остаточный объем легких, общее сопротивление дыхательных путей), диффузионной способности легких. **Результаты.** Параметры ИОМ ( $R_{rs5}$ ,  $R_{rs5} - R_{rs20}$ ,  $A_x$ ,  $\Delta Xrs5$  и  $f_{res}$ ) прогрессивно увеличивались с I по IV стадию (GOLD) обструкции дыхательных путей, тогда как статистически значимых изменений параметра  $R_{rs20}$  не выявлено. Между параметрами традиционных методов исследования механики дыхания и ИОМ наблюдались преимущественно умеренные и сильные корреляционные связи. **Заключение.** ИОМ может быть использована в качестве альтернативного метода оценки механики дыхания при ХОБЛ.

**Ключевые слова:** импульсная осциллометрия, вентиляционные нарушения, хроническая обструктивная болезнь легких, спирометрия, бодиплетизмография, легочные функциональные тесты.

Для цитирования: Савушкина О.И., Черняк А.В., Крюков Е.В., Зайцев А.А., Неклюдова Г.В., Пашкова Т.Л. Импульсная осциллометрия в диагностике нарушений механики дыхания при хронической обструктивной болезни легких. *Пульмонология*. 2020; 30 (3): 285–294. DOI: 10.18093/0869-0189-2020-30-3-285-294

## Impulse oscillometry in the diagnosis of respiratory mechanics defects in chronic obstructive pulmonary disease

Olga I. Savushkina<sup>1</sup>, Aleksandr V. Chernyakh<sup>2,3</sup>, Evgeniy V. Kryukov<sup>1</sup>, Andrey A. Zaytsev<sup>1</sup>, Galina V. Neklyudova<sup>2</sup>, Tat'yana L. Pashkova<sup>2</sup>

- 1 – Academician N.N.Burdenko The Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense, Moscow, Russia: Hospital'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 – D.D.Pletnev City Teaching Hospital, Moscow Healthcare Department: ul. Odinnadtsataya Parkovaya 32, Moscow, 105077, Russia

#### Author information

**Ol'ga I. Savushkina**, Candidate of Biology, Head of Department of Lung Function Testing, Center of Functional Diagnostic Investigations, Academician N.N.Burdenko The Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense, Moscow, Russia; tel.: (499) 263-38-61; e-mail: olga-savushkina@yandex.ru (SPIN: 2988-8700; Author ID: 964904; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7486-4990>)

**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; functional diagnostic medicine practitioner, Department of functional and ultrasound diagnostics, D.D.Pletnev City Teaching Hospital, Moscow Healthcare Department; tel.: (495) 465-53-84; e-mail: achi2000@mail.ru (SPIN: 9328-6440; Author ID: 687383; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2001-5504>)

**Evgeniy V. Kryukov**, Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Head of Academician N.N.Burdenko The Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense, Moscow, Russia; tel.: (499) 263-03-65; e-mail: evgeniy.md@mail.ru (SPIN: 3900-3441; Author ID: 879052; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8396-1936>)

**Andrey A. Zaytsev**, Doctor of Medicine, Chief Pulmonologist, Academician N.N.Burdenko The Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense, Moscow, Russia; tel.: (499) 263-10-47; e-mail: a-zaitsev@yandex.ru (SPIN: 6549-5154; Author ID: 217005; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0934-7313>)

**Galina V. Neklyudova**, Doctor of Medicine, Leading Researcher, Federal Pulmonology Research Institute, Federal Medical and Biological Agency of Russia; tel.: (495) 465-53-84; e-mail: nekludova\_gala@mail.ru (SPIN: 8956-9125; Author ID: 394036; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9509-0867>)

**Tatyana L. Pashkova**, Candidate of Medicine, Senior Researcher, Laboratory of Functional and Ultra-sound Investigations, Federal Pulmonology Research Institute, Federal Medical and Biological Agency of Russia; tel.: (495) 465-53-84; e-mail: tanya.pashkova.33@mail.ru

#### Abstract

Impulse oscillometry (IO) is an innovative method of diagnosing respiratory mechanics. However, there are many unexplored and contentious issues concerning changes in IO parameters, particularly in chronic obstructive pulmonary disease (COPD). **The aim** of the study was to compare IO with traditional pulmonary functional methods and to study its possibilities for diagnostics of respiratory mechanics disorders in patients with COPD. **Methods.** A cross-sectional cohort study was carried out, which included patients with COPD ( $n = 146$ : 137 (94%) men, 9 (6%) women; average age –  $65 \pm 9$  years) from 2 medical institutions of Moscow – Acad. N.N.Burdenko The Main Military Clinical Hospital, Ministry of Defense and Federal Pulmonology Research Institute, Federal Medical and Biological Agency of Russia. Patients were divided into 4 groups depending on the severity of COPD according to the criteria of the Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD): stage I was diagnosed in 8 patients, stage II – in 43, III – in 54, IV – in 41. The parameters of IO (resistive resistance at an oscillation frequency of 5 Hz ( $R_{rs5}$ ) and 20 Hz ( $R_{rs20}$ ), ( $R_{rs5} - R_{rs20}$ ), reactive resistance at an oscillation frequency of 5 Hz ( $X_{rs5}$ ), area of reaction ( $A_x$ ), resonance frequency ( $f_{res}$ ) are analyzed; spirometry – forced expiratory volume in the 1st second (FEV<sub>1</sub>), forced vital capacity (FVC) and FEV<sub>1</sub>/FVC; Body plethysmography (total lung capacity, intrathoracic gas volume, residual volume, total respiratory resistance), lung diffusion capacity. **Results.** The parameters of IO ( $R_{rs5}$ ,  $R_{rs5} - R_{rs20}$ ,  $A_x$ ,  $\Delta X_{rs5}$ , and  $f_{res}$ ) progressively increased from stage I to stage IV (GOLD) of airway obstruction, while statistically significant changes of  $R_{rs20}$  were not detected. The parameters of the traditional methods of investigation of respiratory mechanics and IO were mainly moderately and strongly correlated. **Conclusion.** IO can be used as an alternative method for assessing respiratory mechanics in COPD.

**Key words:** impulse oscillometry, ventilation disorders, chronic obstructive pulmonary disease, spirometry, Body plethysmography, pulmonary functional tests.

For citation: Savushkina O.I., Chernyak A.V., Kryukov E.V., Zaytsev A.A., Neklyudova G.V., Pashkova T.L. Impulse oscillometry in the diagnosis of respiratory mechanics defects in chronic obstructive pulmonary disease. *Pulmonologiya*. 2020; 30 (3): 285–294 (in Russian). DOI: 10.18093/0869-0189-2020-30-3-285-294

В настоящее время хронические заболевания органов дыхания представляют глобальную медико-социальную и экономическую проблему во всех промышленно развитых странах.

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) характеризуется высокой распространенностью, достигающей среди взрослого населения развитых стран  $\geq 15\%$  [1–3]. В России официальная статистика учитывает порядка 3 млн больных ХОБЛ, однако данные отдельных эпидемиологических исследований свидетельствуют о широкой распространенности данного заболевания и по мнению ряда авторов, реальное число больных ХОБЛ в Российской Федерации достигает 16 млн [2]. Также по данным Всемирной организации здравоохранения ХОБЛ является 3-й причиной смерти в мире (среди населения стран со средним и высоким уровнем дохода), при этом ежегодно от данного заболевания умирают  $> 3$  млн больных. Однако мнение экспертного сообщества свидетельствует о том, что к 2020 г. общемировая распространенность ХОБЛ переместится с 12-го места на 5-е, а смертность от этого заболевания к 2030 г. удвоится [1–2].

Важно, что подавляющее число наблюдаемых пациентов страдают ХОБЛ тяжелого течения, что

свидетельствует о недооценке заболевания как врачами, так и пациентами [1–3], поэтому весьма актуально изучение возможностей низкочастотных неинвазивных методов оценки легочной вентиляции.

Основным патофизиологическим нарушением у больных ХОБЛ является экспираторное ограничение воздушного потока (обструкция дыхательных путей – ДП), основу которого составляют как обратимые, так и необратимые компоненты. К необратимым относятся фиброз и сужение просвета ДП, потеря эластической тяги легких вследствие альвеолярной деструкции и альвеолярной поддержки просвета малых ДП. К обратимым причинам относятся сокращение гладкой мускулатуры бронхов, воспаление, накопление слизи и экссудата плазмы в бронхах [2].

«Золотым стандартом» в выявлении обструктивного типа вентиляционных нарушений у больных ХОБЛ является спирометрия. В соответствии с российскими и международными рекомендациями для установления диагноза ХОБЛ необходимо подтвердить ограничение воздушного потока – снижение соотношения показателей объема форсированного выдоха за 1-ю секунду (ОФВ<sub>1</sub>) и форсированной жиз-

ненной емкости легких (ФЖЕЛ), а именно —  $ОФВ_1 / ФЖЕЛ < 0,7$  (после максимальной бронходилатации) [1–2]. При прогрессировании бронхиальной обструкции происходит дальнейшее снижение экспираторного потока, нарастание воздушных ловушек и гиперинфляции легких, что приводит к снижению ФЖЕЛ.

Для оценки выраженности эмфиземы необходимо исследовать структуру общей емкости легких (ОЕЛ) методом бодиплетизмографии и показатели диффузионной способности легких (ДСЛ) [2].

При этом существует ряд методических требований к проведению традиционных методов оценки механики дыхания [4, 5], в случае несоблюдения которых значительно снижается информативность полученных результатов. Так, необходимым условием проведения функциональных методов является корректное выполнение дыхательных маневров, при котором требуется хорошая кооперация пациента с медицинским персоналом. Кроме того, бодиплетизмография является довольно трудоемким и дорогостоящим исследованием.

Наряду с уже существующими методами для диагностики нарушений функции бронхолегочной системы *E. Müller* и *J. Vogel* (1981) предложена к использованию импульсная осциллометрия (ИОМ), представляющая собой неинвазивный метод оценки легочной вентиляции (механики) с помощью определения дыхательного (респираторного) импеданса (общего дыхательного сопротивления) и составляющих его параметров, при этом не требуется выполнения форсированных дыхательных маневров, активного участия пациента и его сотрудничества с персоналом, что является большим преимуществом перед традиционными легочными функциональными тестами. Кроме того, причиной отклонения одного из параметров ИОМ от нормы, а именно — реактивного сопротивления ( $X_{rs}$ ), является изменение эластических свойств легочной ткани и ее инерционности. Снижение реактанса на частоте осцилляций 5 Гц ( $X_{rs5}$ ) обусловлено состояниями, при которых снижается эластичность легких (легочный фиброз и гиперинфляция). Снижение  $X_{rs5}$  выявлено у некоторых больных ХОБЛ при отсутствии отклонений от нормы показателей спирометрии, что, возможно, позволит использовать ИОМ для ранней диагностики данного заболевания [6].

Вместе с тем ИОМ пока еще не является рутинной методикой, применяемой в клинической практике для оценки механики дыхания. Несмотря на всю простоту получения количественных величин параметров дыхательного импеданса, при интерпретации результатов исследования требуются дальнейшее изучение и обоснование, для чего изменения параметров ИОМ при различной легочной патологии и выраженности вентиляционных нарушений сравниваются с параметрами традиционно используемых для оценки легочной вентиляции функциональных методов — спирометрии и бодиплетизмографии.

При этом остается много неизученных и спорных вопросов, касающихся изменений параметров ИОМ, в частности, при разной степени выраженности вентиляционных нарушений у больных ХОБЛ.

Таким образом, целью данной работы явилось сравнение ИОМ с традиционными легочными функциональными методами и изучение ее возможностей в диагностике нарушений механики дыхания у больных ХОБЛ.

## Материалы и методы

Проведено поперечное когортное исследование, в которое были включены больные ХОБЛ ( $n = 146$ : 137 (94 %) мужчин, 9 (6 %) женщин; средний возраст  $65 \pm 9$  лет) — пациенты 2 медицинских учреждений Москвы — Федерального государственного бюджетного учреждения «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н.Бурденко» Министерства обороны Российской Федерации» и Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт пульмонологии» Федерального медико-биологического агентства. Курящие или бывшие курильщики составляли 94 % (57 и 37 % соответственно), некурящие — 6 %.

В работе использованы традиционные легочные функциональные методы (спирометрия, бодиплетизмография, диффузионный тест) и ИОМ. Исследования проводились на установках *Master Screen Body*, *Master Screen PFT PRO* и *Master Screen IOS (Via-sys Healthcare, Германия)*. Спирометрия, бодиплетизмография и диффузионный тест выполнены с соблюдением стандартов качества исследований Американского торакального (*American Thoracic Society — ATS*) и Европейского респираторного (*European Respiratory Society — ERS*) обществ [7–9]. Импульсная осциллометрия проводилась на основании рекомендаций *H.J. Smith et al.* [10]. ДСЛ оценивалась по монооксиду углерода ( $DL_{CO}$ ) методом однократного вдоха с задержкой дыхания [9]. При исследовании использовалась газовая смесь ( $CO — 0,3 \%$ , гелий —  $10,0 \%$ , остальное — синтетический воздух).

По результатам исследования проведен анализ следующих показателей:

- спирометрии: ФЖЕЛ,  $ОФВ_1$ ,  $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$ ,  $ОФВ_1 /$  жизненной емкости легких (ЖЕЛ), средней объемной скорости на участке кривой поток—объем форсированного выдоха между 25 и 75 % ФЖЕЛ ( $СОС_{25-75}$ );
- статических легочных объемов и емкостей: ЖЕЛ, емкости вдоха ( $E_{вд.}$ ), резервного объема выдоха ( $PO_{ввд.}$ ), общей емкости легких (ОЕЛ), остаточного объема легких (ООЛ) и его доли в ОЕЛ (ООЛ / ОЕЛ), внутригрудного объема газа (ВГО);
- показателей бронхиального сопротивления — общего бронхиального сопротивления ( $R_{awобщ.}$ ), бронхиального сопротивления на выдохе ( $R_{awввд.}$ ), на вдохе ( $R_{awвд.}$ ) и между потоками  $0,5 \text{ л / с}$  на вдохе и выдохе ( $R_{aw0,5}$ ), которое отражает прежде всего проходимость центральных ДП [5];

- показателей ДСЛ –  $DL_{CO}$  и отношение  $DL_{CO}$  к альвеолярному объему ( $V_a$ ) –  $K_{CO}$ .
- показателей ИОМ – дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 Гц ( $Z_{rs5}$ ); резистивного (фрикционного) компонента дыхательного импеданса (резистивного сопротивления, или резистанса) при частоте осцилляций 5 и 20 Гц ( $R_{rs5}$  и  $RR_{rs20}$  соответственно); реактивного компонента дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 Гц (реактивного сопротивления, или реактанса –  $X_{rs5}$ ), величина которого оценивалась по абсолютной разнице (сдвигу) между его должным и измеренным значениями ( $\Delta X_{rs5} = X_{rs5\text{долж.}} - X_{rs5}$ ); частотной зависимости  $R_{rs}$  – относительной, которая рассчитывалась двумя способами –  $(R_{rs5} - R_{rs20}) / R_{rs5} \times 100\%$  и  $(R_{rs5} - R_{rs20}) / R_{rs20} \times 100\%$ , и абсолютной, которая рассчитывалась как разность  $R_{rs5}$  и  $R_{rs20}$ , т. е.  $D(R_{rs}) = R_{rs5} - R_{rs20}$ ; резонансной частоты ( $f_{res}$ ); площади реактанса ( $A_x$ ); когерентности при частоте осцилляций 5 Гц ( $Co5$ ).

Границы нормы, а также градации отклонений от нормы показателей внешнего дыхания оценивались с учетом требований ATS и ERS [11], а также рекомендаций Российского респираторного общества [12] и Руководства по клинической физиологии дыхания (под ред. Л.Л. Шика, Н.Н. Канаева) [13]. За верхнюю границу нормы ООЛ и ВГО принималась величина, равная 140 %<sub>долж.</sub> [5]. Показатель ООЛ / ОЕЛ > 120 %<sub>долж.</sub> считался повышенным.

Отклонения от нормы параметров ИОМ оценивались с помощью классического алгоритма – по изменению базовых показателей  $R_{rs5}$  и  $X_{rs5}$ . Выделены 4 стадии вентиляционных нарушений, диагностируемых с помощью ИОМ:

- I – легкая;
- II – умеренная;
- III – тяжелая;
- IV – крайне тяжелая [14].

Степень тяжести ограничения воздушного потока оценивалась по показателю  $ОФВ_1$  после максимальной бронходилатации в соответствии с международными рекомендациями по диагностике и ведению больных ХОБЛ – Глобальной стратегией диагностики, лечения и профилактики ХОБЛ (*Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease – GOLD*) следующим образом:

- $\geq 80\%$ <sub>долж.</sub> – легкие нарушения (GOLD I);
- 50–79 %<sub>долж.</sub> – умеренные (GOLD II);
- 30–49 %<sub>долж.</sub> – тяжелые (GOLD III);
- < 30 %<sub>долж.</sub> – крайне тяжелые (GOLD IV) [1].

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 ( $SD$ ). Для оценки различий между параметрами механики дыхания в зависимости от степени обструктивных нарушений (стадии GOLD I–IV) проводился статистический анализ с помощью рангового критерия Крускала–

Уоллиса с последующим парным сравнением групп с помощью U-критерия Манна–Уитни. Сравнение качественных переменных проводилось с помощью критерия согласия Пирсона  $\chi^2$ . Корреляционный анализ выполнялся с использованием ранговой корреляции Спирмена. Величина уровня статистической значимости  $p$  принята равной 0,05.

## Результаты и обсуждение

Пациенты ( $n = 146$ ), принявшие участие в исследовании, разделены на 4 группы в зависимости от степени тяжести ХОБЛ в соответствии с критериями GOLD:

- 1-я группа ( $n = 8$ ) – I стадия (GOLD I);
- 2-я группа ( $n = 43$ ) – II стадия (GOLD II);
- 3-я группа ( $n = 54$ ) – III стадия (GOLD III);
- 4-я группа ( $n = 41$ ) – IV стадия (GOLD IV).

Характеристика пациентов, а также значения показателей механики дыхания, ДСЛ и ИОМ всей группы в целом, а также в зависимости от степени тяжести ХОБЛ представлены в табл. 1.

По результатам анализа данных табл. 1 показано, что у больных ХОБЛ в среднем по группе выявлено снижение  $ОФВ_1$  тяжелой степени выраженности при снижении  $ОФВ_1 / ЖЕЛ$ ,  $ОФВ_1 / ФЖЕЛ$ ,  $СОС_{25-75}$ , сохранении в пределах нормальных значений показателей ЖЕЛ и увеличении ОЕЛ, что позволяет диагностировать обструктивный тип вентиляционных нарушений. Кроме того, отмечено увеличение показателей ВГО, ООЛ, отношения ООЛ / ОЕЛ,  $R_{aw\text{общ.}}$ ,  $R_{aw\text{вд.}}$ ,  $R_{aw\text{вд.}}$  и  $R_{aw0,5}$ , снижение показателей  $DL_{CO}$  и  $K_{CO}$ .

По данным ИОМ, в среднем по группе отмечено увеличение показателя  $R_{rs5}$ . Кроме того, выявлены патологическая частотная зависимость  $R_{rs}$ , снижение  $X_{rs5}$  (увеличение  $\Delta X_{rs5}$ ), увеличение  $A_x$ ,  $f_{res}$ , тогда как показатель  $R_{rs20}$  находился в пределах нормальных значений. Это объясняется тем, что  $R_{rs20}$  отражает состояние проксимального отдела ДП, в то время как при ХОБЛ изменения затрагивают в большей степени мелкие ДП. Полученные результаты согласуются с данными *T. Piorunek et al.* [15]. В пределах нормальных значений находился и показатель  $Co5$ , что указывает на отсутствие патологической неоднородности механических свойств аппарата вентиляции [5].

Отклонения от нормы базовых показателей  $R_{rs5}$  и  $X_{rs5}$  выявлены в 86 % случаев (у 23 (16 %) пациентов – I степени; у 23 (16 %) – II степени; у 25 (17 %) – III степени; у 54 (37 %) – IV степени тяжести). У 21 (14 %) больного базовые показатели  $R_{rs5}$  и  $X_{rs5}$  оставались в пределах нормальных значений.

Таким образом, вентиляционные нарушения методом ИОМ выявлены у 86 % больных ХОБЛ.

Также по результатам анализа данных табл. 1 в зависимости от стадии ХОБЛ показано, что степень изменения легочных объемов, бронхиального сопротивления, ДСЛ увеличивалась по мере прогрессирования обструктивных нарушений вентиляции, оцениваемых по  $ОФВ_1$ , и не зависела от возраста

пациентов – статистически значимых различий по возрасту между группами не выявлено ( $p = 0,13$ ), как и статистически значимых различий между группа-

ми по росту ( $p = 0,12$ ), соотношению мужчин и женщин ( $p > 0,05$ ), отношению к курению (некурящие / курящие / бросившие курить) ( $p > 0,05$ ), тогда как

**Таблица 1**  
*Характеристика пациентов, показатели механики дыхания, диффузионной способности легких и импульсной осциллометрии пациентов всех групп в целом и в зависимости от степени тяжести хронической обструктивной болезни легких*

**Table 1**  
*Patient characteristics, respiratory mechanics, pulmonary diffusivity, and impulse oscillometry in all groups of patients in general and depending on the severity of chronic obstructive pulmonary disease*

Показатель	Стадия ХОБЛ по GOLD					Критерий Крускала-Уоллиса, $p$
	I-IV	I	II	III	IV	
Число больных, $n$	146	8	43	54	41	
Возраст, годы	65 ± 9	64 ± 11	65 ± 9	67 ± 9	63 ± 9	0,1329
Пол:						
• мужской	137	7	39	50	41	
• женский	9	1	4	4	0	
Статус курения:						
• не курят	9	1	4	3	1	
• курят	83	5	27	28	23	
• экс-курильщики	54	2	12	23	17	
Рост, см	171 ± 7	172 ± 7	173 ± 7	170 ± 7	173 ± 7	0,1190
ИМТ, кг / м <sup>2</sup>	27,0 ± 5,8	27,2 ± 5,7	29,2 ± 6,8	27,3 ± 4,7	24,3 ± 4,9**	0,0051
ЖЕЛ, %доп.	86 ± 18	114 ± 13	97 ± 15*	83 ± 15**	73 ± 14**	< 0,0001
ФЖЕЛ, %доп.	75 ± 19	108 ± 16	88 ± 16*	69 ± 12**	62 ± 13**	< 0,0001
ОФВ <sub>1</sub> , %доп.	43 ± 19	87 ± 8	61 ± 8*	38 ± 6**	24 ± 4**	< 0,0001
ОФВ <sub>1</sub> / ЖЕЛ, %	40 ± 13	59 ± 7	48 ± 9	40 ± 10**	25 ± 6**	< 0,0001
ОФВ <sub>1</sub> / ФЖЕЛ, %	43 ± 13	64 ± 5	55 ± 9*	39 ± 8**	31 ± 8**	< 0,0001
СОС <sub>25-75</sub> , %доп.	17 ± 12	42 ± 12	26 ± 10*	14 ± 5**	8 ± 2**	< 0,0001
ОЕЛ, %доп.	121 ± 19	116 ± 13	113 ± 16	117 ± 16	136 ± 19**	< 0,0001
ВГО, %доп.	155 ± 144	122 ± 25	125 ± 28	148 ± 29**	200 ± 39**	< 0,0001
Е <sub>вд</sub> , %доп.	90 ± 23	118 ± 14	106 ± 15*	86 ± 17**	68 ± 17**	< 0,0001
РО <sub>вд</sub> , %доп.	77 ± 38	100 ± 58	73 ± 38	74 ± 35	81 ± 34	0,5106
ООЛ, %доп.	188 ± 59	132 ± 22	148 ± 34	179 ± 36**	254 ± 53**	< 0,0001
ООЛ / ОЕЛ, %доп.	144 ± 28	107 ± 13	121 ± 16*	145 ± 19**	174 ± 19**	< 0,0001
R <sub>авобщ</sub> , кПа·с/л	0,74 ± 0,37	0,36 ± 0,26	0,49 ± 0,23	0,86 ± 0,33**	0,91 ± 0,38**	< 0,0001
R <sub>аввд</sub> , кПа·с/л	1,42 ± 1,3	0,48 ± 0,40	0,68 ± 0,38	1,46 ± 0,75**	2,35 ± 1,90**	< 0,0001
R <sub>ав</sub> , кПа·с/л	0,54 ± 0,49	0,25 ± 0,15	0,36 ± 0,15	0,55 ± 0,19**	0,79 ± 0,84**	< 0,0001
R <sub>ав0,5</sub> , кПа·с/л	0,37 ± 0,14	0,29 ± 0,10	0,30 ± 0,11	0,42 ± 0,14**	0,41 ± 0,13**	0,0003
DL <sub>CO</sub> , %доп.	61 ± 21	71 ± 12	75 ± 17	61 ± 21**	44 ± 12**	< 0,0001
K <sub>CO</sub> , %доп.	75 ± 29	73 ± 23	86 ± 23	81 ± 30	54 ± 24**	< 0,0001
R <sub>15</sub> , %доп.	188 ± 69	121 ± 49	155 ± 55	202 ± 55**	216 ± 81**	< 0,0001
R <sub>20</sub> , %доп.	115 ± 32	101 ± 31	110 ± 31	121 ± 27**	115 ± 37	0,0596
(R <sub>15</sub> -R <sub>20</sub> ) / R <sub>15</sub> , %	44 ± 13	24 ± 16	36 ± 11*	47 ± 10**	53 ± 8**	< 0,0001
(R <sub>15</sub> -R <sub>20</sub> ) / R <sub>20</sub> , %	90 ± 47	37 ± 33	61 ± 27*	101 ± 47**	118 ± 40**	< 0,0001
(R <sub>15</sub> -R <sub>20</sub> ), кПа × с / л	0,28 ± 0,17	0,12 ± 0,13	0,21 ± 0,15*	0,31 ± 0,14**	0,35 ± 0,18**	< 0,0001
ΔX <sub>15</sub> , кПа × с / л	0,32 ± 0,20	0,11 ± 0,09	0,19 ± 0,12*	0,35 ± 0,15**	0,45 ± 0,22**	< 0,0001
A <sub>X</sub> , кПа / л	2,83 ± 2,11	0,95 ± 1,26	1,84 ± 1,29*	3,40 ± 1,65**	3,5 ± 2,8**	< 0,0001
Co5	0,71 ± 0,11	0,72 ± 0,12	0,74 ± 0,10	0,7 ± 0,1	0,66 ± 0,12**	0,0085
f <sub>res</sub> , Гц	25 ± 6	16 ± 6	22 ± 5*	27 ± 4**	29 ± 5**	< 0,0001

Примечание: ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких; GOLD (Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease) – Глобальная инициатива по хронической обструктивной болезни легких; ДСЛ – диффузионная способность легких; ИОМ – импульсная осциллометрия; ИМТ – индекс массы тела; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ОФВ<sub>1</sub> – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; СОС<sub>25-75</sub> – средняя объемная скорость на участке кривой поток-объем форсированного выдоха между 25 и 75 % ФЖЕЛ; ОЕЛ – общая емкость легких; ВГО – внутригрудной объем газа; Е<sub>вд</sub> – емкость вдоха; РО<sub>вд</sub> – резервный объем выдоха; ООЛ – остаточный объем легких; R<sub>авобщ</sub> – общее бронхиальное сопротивление дыхательных путей; R<sub>аввд</sub>, R<sub>ав</sub> – бронхиальное сопротивление на выдохе и вдохе соответственно; R<sub>ав0,5</sub> – бронхиальное сопротивление между потоками 0,5 л / с на вдохе и выдохе; DL<sub>CO</sub> – диффузионная способность легких по монооксиду углерода; K<sub>CO</sub> – отношение показателей DL<sub>CO</sub> и альвеолярного объема; R<sub>15</sub>, R<sub>20</sub> – резистивный (фрикционный) компонент дыхательного импеданса (резистивного сопротивления, или резистанса) при частоте осцилляций 5 и 20 Гц соответственно; ΔX<sub>15</sub> – реактивный компонент (реактивное сопротивление, или реактанс) дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 Гц; A<sub>X</sub> – площадь реактанса; Co5 – когерентность при частоте осцилляций 5 Гц; f<sub>res</sub> – резонансная частота; при сравнении с больными ХОБЛ следующих стадий по GOLD: \* – I ( $p < 0,05$ ); \*\* – II ( $p < 0,05$ ); \*\*\* – III ( $p < 0,05$ ).  
Note: in comparison with patients with chronic obstructive pulmonary disease of the following stages by GOLD: \* – I ( $p < 0,05$ ); \*\* – II ( $p < 0,05$ ); \*\*\* – III ( $p < 0,05$ ).

в 4-й группе отмечен достоверно более низкий показатель индекса массы тела ( $p = 0,005$ ). Однако по мере нарастания обструкции у больных ХОБЛ снижалась ЖЕЛ (за счет снижения  $E_{вд.}$ , в то время как  $RO_{выд.}$  изменялся статистически незначимо), увеличивались степень гиперинфляции (возрастал ВГО) и объем воздушных ловушек (возрастали показатели ООЛ и ООЛ / ОЕЛ). Параметр  $ОФВ_1$  статистически значимо коррелировал с ЖЕЛ, ОЕЛ, ВГО, ООЛ и ООЛ / ОЕЛ ( $r$  составил  $-0,649$ ;  $-0,382$ ;  $-0,632$ ;  $-0,690$  и  $-0,803$  соответственно;  $p < 0,001$ ). Изменения  $E_{вд.}$  в зависимости от ВГО и ВГО в зависимости от величины  $ОФВ_1$  у больных ХОБЛ представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

Таким образом, степень измерения параметров ИОМ также отражает выраженность вентиляционных нарушений, диагностированных с помощью спирометрии, что согласуется с результатами исследования Л.Д.Кириюхиной и соавт. [16].

Так, в группе с легкой степенью обструкции статистические легочные объемы и ФЖЕЛ сохранялись в пределах нормальных значений. Показатели  $R_{aw_{общ.}}$  и  $R_{aw_{выд.}}$  были умеренно увеличены,  $R_{aw_{0,5}}$  и  $R_{aw_{вл.}}$  оставались в пределах нормальных значений. Показатели  $DL_{CO}$  и  $K_{CO}$  были снижены. По данным ИОМ выявлены патологическая частотная зависимость  $R_{rs}$ , увеличение  $A_x$  и  $f_{res}$ . Показатели  $R_{rs5}$  и  $\Delta X_{rs5}$  в среднем по группе оставались в пределах нормальных значений, однако их отклонения от нормы установлены в 25 % случаев – у 1 (12,5 %) пациента – I степени, еще у 1 (12,5 %) – III степени тяжести, что согласуется с данными, полученными в предыдущем исследовании [17]. У 5 (75 %) пациентов базовые показатели  $R_{rs5}$  и  $X_{rs5}$  оставались в пределах нормальных значений.

Таким образом, показано, что ИОМ обладает низкой информативностью в диагностике вентиляционных нарушений легкой степени. На результаты также могло оказать влияние небольшое число выборки пациентов с легкой обструкцией (GOLD I).

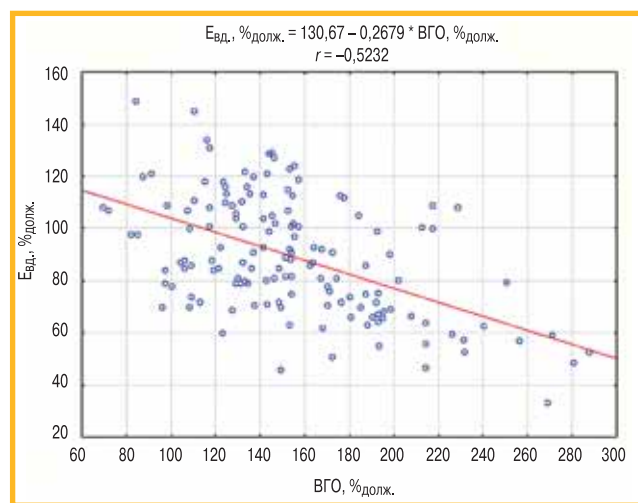


Рис. 1. Изменение емкости вдоха у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких в зависимости от внутригрудного объема газа  
Примечание:  $E_{вд.}$  – емкость вдоха; ВГО – внутригрудной объем газа.  
Figure 1. Changes in respiratory capacity in patients with chronic obstructive pulmonary disease as a function of intrathoracic gas volume

В группе с умеренной степенью обструкции (GOLD II) показатели ФЖЕЛ, ЖЕЛ, ОЕЛ, ВГО отмечены в пределах нормальных значений. Показатели ООЛ, ООЛ / ОЕЛ,  $R_{aw_{общ.}}$ ,  $R_{aw_{выд.}}$  и  $R_{aw_{вл.}}$  были увеличены в большей степени по сравнению с таковыми при обструкции легкой степени. Показатель  $R_{aw_{0,5}}$  оставался в пределах нормальных значений. Показатель  $DL_{CO}$  был снижен,  $K_{CO}$  составлял пределы нормальных значений. По данным ИОМ, как и в случае обструкции ДП легкой степени, выявлены патологическая частотная зависимость  $R_{rs}$ , увеличение  $A_x$  и  $f_{res}$ , а также  $R_{rs5}$  и  $\Delta X_{rs5}$ . Увеличение  $\Delta X_{rs5}$ , т. е. снижение реактанса на частоте осцилляций 5 Гц, позволяет судить об изменениях эластических свойств легочной ткани и ее инерционности у больных ХОБЛ, начиная с умеренно выраженных обструктивных нарушений вентиляции. Отклонения от нормы базовых показателей  $R_{rs5}$  и  $X_{rs5}$  установлены в 68 % случаев:

- у 13 (30 %) пациентов – I степени;
- у 8 (19 %) – II степени;
- у 2 (5 %) – III степени;
- у 6 (14 %) – IV степени тяжести.

У 14 (32 %) больных ХОБЛ базовые показатели  $R_{rs5}$  и  $X_{rs5}$  оставались в пределах нормальных значений. В исследовании [18], в которое вошли только 40 % пациентов с ХОБЛ, показано, что при умеренной обструкции отклонения от нормы базовых показателей  $R_{rs5}$  и  $X_{rs5}$  отмечались в 57 % случаев.

В группе с тяжелой степенью обструкции (GOLD III) выявлено снижение ФЖЕЛ, увеличение ООЛ, ООЛ / ОЕЛ, ВГО. Показатели ОЕЛ и ЖЕЛ сохранялись в пределах нормальных значений. Показатели  $R_{aw_{общ.}}$ ,  $R_{aw_{выд.}}$ ,  $R_{aw_{вл.}}$  и  $R_{aw_{0,5}}$  были увеличены,  $DL_{CO}$  – снижен,  $K_{CO}$  находился в пределах нормальных значений. По данным ИОМ, как и в случае обструкции умеренной степени, выявлена патологическая частотная зависимость  $R_{rs}$ , увеличение  $A_x$ ,  $f_{res}$ ,  $R_{rs5}$

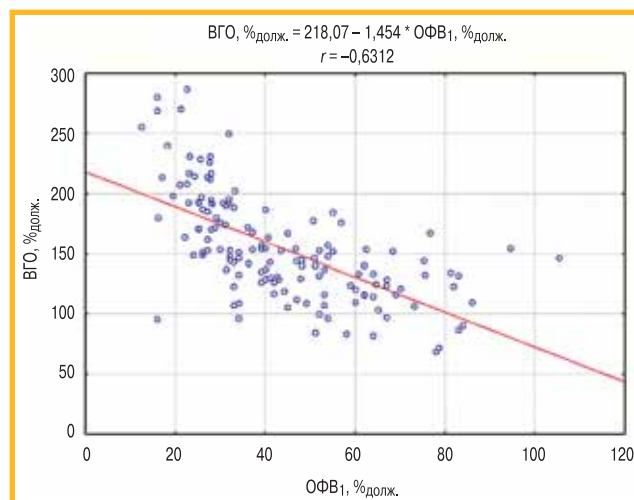


Рис. 2. Изменение внутригрудного объема газа у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких в зависимости от объема форсированного выдоха за 1-ю секунду  
Примечание: ВГО – внутригрудной объем газа;  $ОФВ_1$  – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду.  
Figure 2. Variation of intrathoracic gas volume in patients with chronic obstructive pulmonary disease as a function of the forced expiratory volume in the 1<sup>st</sup> second

и  $\Delta X_{R_{rs}}$ . Отклонения от нормы базовых показателей  $R_{rs5}$  и  $X_{rs5}$  выявлены в 98 % случаев:

- у 3 (6 %) пациентов – I степени;
- у 13 (24 %) – II степени;
- у 12 (22 %) – III степени;
- у 25 (46 %) – IV степени тяжести.

У 1 (2 %) пациента базовые показатели  $R_{rs5}$  и  $X_{rs5}$  оставались в пределах нормальных значений.

В группе с крайне тяжелой степенью обструкции (GOLD IV) выявлено снижение ФЖЕЛ, ЖЕЛ, увеличение ООЛ, ООЛ / ОЕЛ, ВГО и ОЕЛ. Показатели  $R_{aw\text{общ.}}$ ,  $R_{aw\text{выд.}}$ ,  $R_{aw\text{вд.}}$  и  $R_{aw0,5}$  были увеличены,  $DL_{CO}$  и  $K_{CO}$  – снижены. По данным ИОМ, как и в случае обструкции тяжелой степени, выявлена патологическая частотная зависимость  $R_{rs}$ . Отмечено увеличение  $A_x$ ,  $f_{res}$ ,  $R_{rs5}$  и  $\Delta X_{R_{rs5}}$ . Отклонения от нормы базовых показателей  $R_{rs5}$  и  $X_{rs5}$  выявлены в 100 % случаев:

- у 6 (15 %) пациентов – I степени;
- у 2 (5 %) – II степени;
- у 10 (24 %) – III степени;
- у 23 (56 %) – IV степени тяжести.

Таким образом, с повышением степени тяжести обструкции (GOLD I–IV) выявлено прогрессивное увеличение показателей  $R_{rs5}$ , частотной зависимости  $R_{rs}$ , увеличение  $\Delta X_{R_{rs5}}$ ,  $A_x$  и  $f_{res}$  (см. табл. 1). При сравнении значений при ХОБЛ I и IV степени тяжести по GOLD установлено, что относительный прирост  $A_x$  и  $\Delta X_{R_{rs5}}$  составил 268 % (с 0,95 до 3,50 кПа × л / с) и 309 % (с 0,11 до 0,45 кПа × л / с) соответственно, тогда как прирост  $R_{rs5}$  и  $R_{rs5} - R_{rs20} - 69$  % (с 0,39 до 0,66 кПа × л / с) и 192 % (с 0,12 до 0,35 кПа × л / с) соответственно.

Полученные данные о динамике показателей ИОМ подтверждают таковые в работе *Xia Wei et al.* [19], по результатам которой показано, что ИОМ может использоваться как альтернативный метод оценки вентиляционной функции легких у пациентов с ХОБЛ, главным образом – с тяжелой и крайне тяжелой степенью обструкции ДП (GOLD III–IV). По мнению *L.Jarenbäck et al.* [20], при применении спирометрии в сочетании с ИОМ повышается чувствительность выявления ограничения воздушного потока у больных ХОБЛ.

В зависимости от степени тяжести снижения  $ОФВ_1$  (GOLD I–IV) в 4 группах выявлены статистически значимые различия показателей ИОМ –  $Z_{rs5}$ ,  $R_{rs5}$ ,  $(R_{rs5} - R_{rs20}) / R_{rs5}$ , % (рис. 3),  $(R_{rs5} - R_{rs20}) / R_{rs20}$ , %,  $R_{rs5} - R_{rs20}$ ,  $\Delta_{rs5}$ ,  $f_{res}$  и  $A_x$ . Между параметрами  $R_{rs20}$  и  $Со5$  статистически значимых различий не выявлено. Отсутствие корреляции  $R_{rs20}$  с тяжестью obstructивных нарушений у пациентов с ХОБЛ (GOLD II–IV) продемонстрировано также в исследовании *ECLIPSE* ( $n = 2\ 054$ ) [21]. Значения  $R_{rs20}$  были одинаковыми при прогрессировании снижения показателей  $ОФВ_1$  (0,29, 0,31, 0,31 кПа × л / с соответственно). В настоящем исследовании  $R_{rs20}$  в зависимости от стадии GOLD I–IV составили 0,28; 0,30; 0,33 и 0 кПа × л / с соответственно, тогда как показатели частотной зависимости  $R_{rs}$  пропорционально увеличивались с нарастанием ограничения воздушного

потока (GOLD I–IV) (см. табл. 1). Это свидетельствует о том, что главным определяющим фактором повышения сопротивления легких у больных ХОБЛ является патология мелких ДП. Степень нарушения механики дыхания по ИОМ статистически значимо ( $p < 0,001$ ) менялась в зависимости от степени тяжести obstructивных нарушений, оцениваемых по  $ОФВ_1$  (GOLD I–IV) (рис. 4).

Результаты корреляционного анализа показателей механики дыхания, ДСЛ и ИОМ по Спирмену у больных ХОБЛ представлены в табл. 2.

При корреляционном анализе показателей механики дыхания и ИОМ у больных с ХОБЛ были

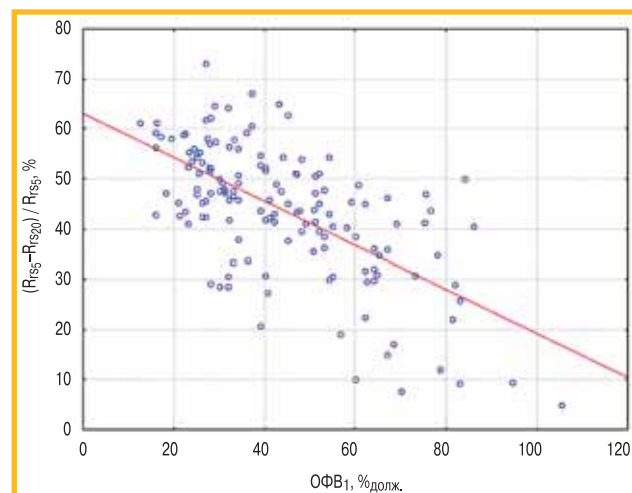


Рис. 3. Изменение показателей импульсной осциллометрии  $(R_{rs5} - R_{rs20}) / R_{rs5}$  в зависимости от степени тяжести obstructивных нарушений, оцениваемых по объему форсированного выдоха за 1-ю секунду

Примечание:  $R_{rs5}$ ,  $R_{rs20}$  – резистивный (фрикционный) компонент дыхательного импеданса (резистивного сопротивления, или резистанса) при частоте осцилляций 5 и 20 Гц соответственно;  $ОФВ_1$  – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду.

Figure 3. Change in impulsive oscillometry  $(R_{rs5} - R_{rs20}) / R_{rs5}$  depending on the degree of obstructive disorders, estimated by the forced expiratory volume in 1<sup>st</sup> second

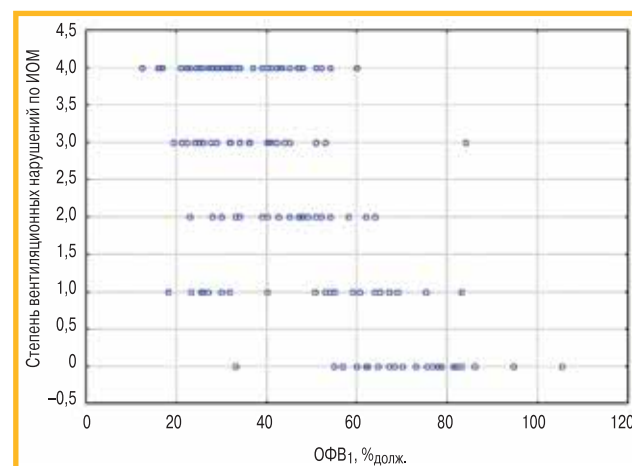


Рис. 4. Изменение степени нарушения механики дыхания, определяемой с помощью импульсной осциллометрии, в зависимости от степени тяжести obstructивных нарушений, оцениваемых по объему форсированного выдоха за 1-ю секунду

Примечание:  $ОФВ_1$  – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; ИОМ – импульсная осциллометрия.

Figure 4. Change in the degree of respiratory mechanics disturbance, determined by impulse oscillometry, depending on the degree of severity of obstructive disorders, estimated by the forced expiratory volume in the 1<sup>st</sup> second

Таблица 2

Результаты корреляционного анализа показателей механики дыхания, диффузионной способности легких и импульсной осциллометрии по Спирмену у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких ( $n = 146$ )

Table 2

Results of correlative analysis of respiratory mechanics, lung diffusivity, and impulsed Spirman oscillometry in patients with chronic obstructive pulmonary disease ( $n = 146$ )

Показатель	$R_{rs5}$ , %допж.	$R_{rs20}$ , %допж.	$(R_{rs5} - R_{rs20})/R_{rs5}$ , %	$(R_{rs5} - R_{rs20})/R_{rs20}$ , %	$R_{rs5} - R_{rs20}$ , кПа·с/л	$\Delta X_{rs5}$ , кПа·с/л	$f_{res}$ , Гц	$A_x$ , кПа/л	стадия ИОМ
ЖЕЛ, %допж.	-0,42	-0,23	-0,41	-0,40	-0,39	-0,47	-0,29	-0,33	-0,47
ФЖЕЛ, %допж.	-0,44	-0,25	-0,45	-0,45	-0,46	-0,52	-0,42	-0,46	-0,52
ОФВ <sub>1</sub> , %допж.	-0,48	NS	-0,61	-0,60	-0,50	-0,62	-0,55	-0,35	-0,58
ОФВ <sub>1</sub> / ЖЕЛ, %	-0,27	NS	-0,41	-0,36	-0,27	-0,36	-0,45	-0,37	-0,32
ОФВ <sub>1</sub> / ФЖЕЛ, %	-0,32	NS	-0,45	-0,49	-0,36	-0,47	-0,48	-0,21	-0,44
ОЕЛ, %допж.	NS	-0,18	0,26	0,24	NS	0,23	0,32	NS	NS
ООЛ, %допж.	0,19	NS	0,45	0,43	0,22	0,45	0,43	NS	0,33
ВГО, %допж.	NS	NS	0,39	0,36	0,17	0,37	0,41	NS	0,26
$R_{aw\text{общ}}$ , кПа·с/л	0,61	0,32	0,62	0,64	0,68	0,71	0,57	0,66	0,70
$R_{aw0,5}$ , кПа·с/л*	0,48	0,34	0,44	0,46	0,52	0,54	0,36	0,56	0,52
$DL_{CO}$ , %допж.	NS	NS	-0,29	-0,27	NS	-0,29	-0,26	NS	-0,24

Примечание: ИОМ – импульсная осциллометрия; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ОФВ<sub>1</sub> – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; ОЕЛ – общая емкость легких; ООЛ – остаточный объем легких; ВГО – внутригрудной объем газа;  $R_{aw\text{общ}}$  – общее бронхиальное сопротивление дыхательных путей;  $R_{aw\text{вд}}$ ,  $R_{aw\text{выд}}$  – бронхиальное сопротивление на выдохе и вдохе соответственно;  $R_{aw0,5}$  – бронхиальное сопротивление между потоками 0,5 л / с на вдохе и выдохе;  $R_{rs5}$ ,  $R_{rs20}$  – резистивный (фрикционный) компонент дыхательного импеданса (резистивного сопротивления, или резистанса) при частоте осцилляций 5 и 20 Гц соответственно;  $\Delta X_{rs5}$  – реактивный компонент (реактивное сопротивление, или реактанс) дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 Гц;  $A_x$  – площадь реактанса;  $Co5$  – когерентность при частоте осцилляций 5 Гц;  $f_{res}$  – резонансная частота;  $DL_{CO}$  – диффузионная способность легких по монооксиду углерода; NS – достоверных корреляционных связей не выявлено; \* – показатели бронхиального сопротивления между потоками 0,5 л / с на вдохе и выдохе ( $R_{aw0,5}$ ) доступны только у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких ( $n = 93$ ).

Note: NS, no significant correlation was found; \*, bronchial resistance indices between 0.5 l/s flows on inhalation and exhalation ( $R_{aw0,5}$ ) are available only in patients with chronic obstructive pulmonary disease ( $n = 93$ ).

выявлены следующие статистически значимые взаимосвязи:

- показатель  $R_{aw\text{общ}}$  находился в сильной прямой корреляционной зависимости с  $\Delta X_{rs5}$  и стадией вентиляционных нарушений по ИОМ, в умеренной (ближе к сильной) прямой корреляционной зависимости с  $R_{rs5}$ , относительными и абсолютными частотными зависимостями от  $R_{rs}$ ,  $f_{res}$  и  $A_x$ ;
- показатель  $R_{aw0,5}$  находился в умеренной прямой корреляционной зависимости со всеми изучаемыми параметрами ИОМ;
- параметры ОФВ<sub>1</sub> и ФЖЕЛ находились в умеренной обратной корреляционной зависимости со всеми изучаемыми параметрами ИОМ, за исключением показателя  $R_{rs20}$ , с которым выявлена слабая обратная корреляционная связь с ФЖЕЛ;
- параметр ЖЕЛ находился в умеренной обратной корреляционной зависимости с параметрами ИОМ, за исключением  $R_{rs20}$  и  $f_{res}$ , с которыми выявлена слабая обратная корреляционная связь;
- отмечены умеренные обратные корреляционные связи показателей ОФВ<sub>1</sub> / ЖЕЛ и ОФВ<sub>1</sub> / ФЖЕЛ с относительными частотными зависимостями от  $R_{rs}$ ,  $\Delta X_{rs5}$ ,  $f_{res}$ ,  $A_x$ , стадией вентиляционных нарушений по ИОМ, ОФВ<sub>1</sub> / ФЖЕЛ – с  $R_{rs5}$  и абсолютной частотной зависимостью  $R_{rs}$ , ОФВ<sub>1</sub> / ЖЕЛ – с  $A_x$ ;
- отмечены слабая обратная корреляционная зависимость ОЕЛ с  $R_{rs20}$  и слабые прямые корреляционные связи с относительными частотными зависимостями от  $R_{rs}$ ,  $\Delta X_{rs5}$  и  $f_{res}$ ;
- отмечены умеренные прямые корреляционные связи показателей статических легочных объемов (ООЛ и ВГО) с относительными частотными

зависимостями  $R_{rs}$ ,  $\Delta X_{rs5}$  и  $f_{res}$ , ООЛ – со стадией вентиляционных нарушений по ИОМ.

Выявлены слабые обратные корреляционные связи между показателями  $DL_{CO}$  и относительными частотными зависимостями  $R_{rs}$ ,  $\Delta X_{rs5}$ ,  $f_{res}$  и стадией вентиляционных нарушений по ИОМ (см. табл. 2).

Аналогичные корреляционные связи между параметрами ИОМ и традиционными методами оценки механики дыхания у больных ХОБЛ выявлены также в работе Xia Wei et al. [19].

## Заключение

По результатам изложенного сделаны следующие выводы:

- ИОМ может быть использована как альтернативный метод оценки вентиляционной функции легких у больных ХОБЛ при ОФВ<sub>1</sub> < 50 %допж.;
- ИОМ обладает низкой информативностью при диагностике вентиляционных нарушений легкой степени у больных ХОБЛ (ОФВ<sub>1</sub> > 80 %допж.) (GOLD I), частота выявления которых при использовании базового алгоритма интерпретации показателей составила 25 %;
- степень изменения параметров ИОМ отражает выраженность вентиляционных нарушений, установленных с помощью спирометрического исследования;
- на изменения параметров ИОМ у больных ХОБЛ оказывает влияние прежде всего величина бронхиального сопротивления ДП.

## Конфликт интересов

Конфликт интересов отсутствует. Исследование проводилось без участия спонсоров.



**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest. This study was not sponsored.

**Список сокращений**

ВГО – внутригрудной объем газа  
 ДП – дыхательные пути  
 ДСЛ – диффузионная способность легких  
 Е<sub>вл.</sub> – емкость вдоха  
 ЖЕЛ – жизненная емкость легких  
 ИМТ – индекс массы тела  
 ИОМ – импульсная осциллометрия  
 ОЕЛ – общая емкость легких  
 ООЛ – остаточный объем легких  
 ОФВ<sub>1</sub> – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду  
 РО<sub>выд.</sub> – резервный объем выдоха  
 СОС<sub>25–75</sub> – средняя объемная скорость на участке кривой поток–объем форсированного выдоха между 25 и 75 % ФЖЕЛ  
 ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких  
 ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких  
 А<sub>х</sub> – площадь реактанта  
 Со5 – когерентность при частоте осцилляций 5 Гц  
 DL<sub>CO</sub> – диффузионная способность легких по монооксиду углерода  
 f<sub>res</sub> – резонансная частота  
 GOLD (*Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease*) – Глобальная инициатива по хронической обструктивной болезни легких  
 К<sub>CO</sub> – отношение показателей DL<sub>CO</sub> и альвеолярного объема  
 R<sub>aw0,5</sub> – бронхиальное сопротивление между потоками 0,5 л / с на вдохе и выдохе  
 R<sub>awылд.</sub>, R<sub>awвл.</sub> – бронхиальное сопротивление на выдохе и вдохе соответственно  
 R<sub>awобщ.</sub> – общее бронхиальное сопротивление дыхательных путей  
 R<sub>rs5</sub>, R<sub>rs20</sub> – резистивный (фрикционный) компонент дыхательного импеданса (резистивного сопротивления, или резистанса) при частоте осцилляций 5 и 20 Гц соответственно  
 Z<sub>rs5</sub> – дыхательный импеданс при частоте осцилляций 5 Гц  
 ΔX<sub>rs5</sub> – реактивный компонент (реактивное сопротивление, или реактанс) дыхательного импеданса при частоте осцилляций 5 Гц

**Литература**

- Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global Strategy for the Diagnosis, Management and Prevention of Chronic Obstructive Lung Disease. 2019 Report. Available at: <https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2018/11/GOLD-2019-v1.7-FINAL-14Nov2018-WMS.pdf>
- Хроническая обструктивная болезнь легких: Клинические рекомендации. Российское респираторное общество; 2016. Доступно на: <https://spulmo.ru>
- Синопальников А.И., Зайцев А.А. Современный взгляд на фармакотерапию обострений хронической обструктивной болезни легких. *Лечащий врач*. 2009; (10): 45–49.
- Стручков П.В., Дроздов Д.В., Лукина О.Ф. Спирометрия: Руководство для врачей. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2017.
- Савушкина О.И., Черняк А.В., ред. Легочные функциональные тесты: от теории к практике: Руководство для врачей. М.: Стром; 2017.
- Brashier B., Salvi S. Measuring lung function using sound waves: role of the forced oscillation technique and impulse oscillometry system. *Breathe*. 2015; 11 (1): 57–65. DOI: 10.1183/20734735.020514.
- Miller M.R., Hankinson J., Brusasco V. et al. Standardisation of spirometry. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (2): 319–338. DOI: 10.1183/09031936.05.00034805.
- 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.
- 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.
- Smith H.J., Reinhold P., Goldman M.D. Forced oscillation technique and impulse oscillometry. *Eur. Respir. Mon.* 2005; 31: 72–105.
- 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.
- Чучалин А.Г., Айсанов З.Р., Чикина С.Ю. и др. Федеральные клинические рекомендации Российского респираторного общества по использованию метода спирометрии. *Пульмонология*. 2014; (6): 11–23. DOI: 10.18093/0869-0189-2014-0-6-11-24.
- Шик Л.Л., Канаев Н.Н., ред. Руководство по клинической физиологии дыхания. Ленинград: Медицина; 1980.
- 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 (in German).
- 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. DOI: 10.1007/5584\_2014\_49.
- Кирюхина Л.Д., Аганезова Е.С., Каменева М.Ю., Яковлева Н.Г. Диагностика нарушений механики дыхания у больных с хроническими обструктивными заболеваниями легких с помощью импульсной осциллометрии. *Болезни органов дыхания*. 2005; (2): 9–13.
- Савушкина О.И., Черняк А.В., Каменева М.Ю. и др. Возможности импульсной осциллометрии в диагностике обструкции дыхательных путей легкой степени выраженности. *Пульмонология*. 2018; 28 (4): 391–398. DOI: 10.18093/0869-0189-2018-28-4-391-398.
- Савушкина О.И., Черняк А.В., Каменева М.Ю. и др. Диагностика обструкции дыхательных путей умеренной степени выраженности методом импульсной осциллометрии. *Медицинский алфавит*. 2018; 3 (25 (362)): 40–44.
- Wei X., Shi Z., Cui Y. et al. Impulse oscillometry system as an alternative diagnostic method for chronic obstructive pulmonary disease. *Medicine* (Baltimore). 2017; 96 (46): e8543. DOI: 10.1097/MD.0000000000008543.
- Jarenbäck L., Ankerst J., Bjermer L., Tufvesson E. Flow-volume parameters in COPD related to extended measurements of lung volume, diffusion, and resistance. *Pulm. Med.* 2013; 2013: 782052. DOI: 10.1155/2013/782052.

21. Crim C., Celli B., Edwards L.D. et al. Respiratory system impedance with impulse oscillometry in healthy and COPD subjects: ECLIPSE baseline results. *Respir. Med.* 2011; 105 (7): 1069–1078. DOI: 10.1016/j.rmed.2011.01.010.

Поступила 30.01.19

## References

- Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global Strategy for the Diagnosis, Management and Prevention of Chronic Obstructive Lung Disease. 2019 Report. Available at: <https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2018/11/GOLD-2019-v1.7-FINAL-14Nov2018-WMS.pdf>
- [Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Federal guidelines of Russian Respiratory Society; 2016]. Available at: <https://spulmo.ru> (in Russian).
- Sinopal'nikov A.I., Zaytsev A.A. [Contemporary view on pharmacotherapy of exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease]. *Lechashchiy vrach.* 2009; (10): 45–49 (in Russian).
- Struchkov P.V., Drozdov D.V., Lukina O.F. [Spirometry: Doctor's manual]. Moscow: GEOTAR-Media; 2017 (in Russian).
- Savushkina O.I., Chernyak A.V., eds. [Pulmonary Function Tests: From Theory to Practice: A Guide for Doctors]. Moscow: Strom; 2017 (in Russian).
- Brashier B., Salvi S. Measuring lung function using sound waves: role of the forced oscillation technique and impulse oscillometry system. *Breathe.* 2015; 11 (1): 57–65. DOI: 10.1183/20734735.020514.
- Miller M.R., Hankinson J., Brusasco V. et al. Standardisation of spirometry. *Eur. Respir. J.* 2005; 26 (2): 319–338. DOI: 10.1183/09031936.05.00034805.
- 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.
- 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.
- Smith H.J., Reinhold P., Goldman M.D. Forced oscillation technique and impulse oscillometry. *Eur. Respir. Mon.* 2005; 31: 72–105.
- 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.
- Chuchalin A.G., Aisanov Z.R., Chikina S.Yu. et al. [Federal guidelines of Russian Respiratory Society on spirometry]. *Pul'monologiya.* 2014; (6): 11–24. DOI: 10.18093/0869-0189-2014-0-6-11-24 (in Russian).
- Shik L.L., Kanaev N.N., eds. [Manual of Clinical Breathing Physiology]. Leningrad: Meditsina; 1980 (in Russian).
- 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 (in German).
- 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. DOI: 10.1007/5584\_2014\_49.
- Kiryukhina L.D., Aganezova E.S., Kameneva M.Yu., Yakovleva N.G. [Diagnosis of respiratory mechanics disorders in patients with chronic obstructive pulmonary diseases by means of impulse oscillometry]. *Bolezni organov dykhaniya.* 2005; (2): 9–13 (in Russian).
- Savushkina O.I., Chernyak A.V., Kameneva M.Yu. et al. [A role of impulse oscillometry for diagnosis of mild bronchial obstruction]. *Pul'monologiya.* 2018; 28 (4): 391–398. DOI: 10.18093/0869-0189-2018-28-4-391-398 (in Russian).
- Savushkina O.I., Chernyak A.V., Kameneva M.Yu. et al. [Diagnosis of airway obstruction of moderate severity by the method of pulsed oscillometry]. *Meditsinskiy al'favit.* 2018; 3 (25 (362)): 40–44 (in Russian).
- Wei X., Shi Z., Cui Y. et al. Impulse oscillometry system as an alternative diagnostic method for chronic obstructive pulmonary disease. *Medicine (Baltimore).* 2017; 96 (46): e8543. DOI: 10.1097/MD.00000000000008543.
- Jarenbäck L., Ankerst J., Bjermer L., Tufvesson E. Flow-volume parameters in COPD related to extended measurements of lung volume, diffusion, and resistance. *Pulm. Med.* 2013; 2013: 782052. DOI: 10.1155/2013/782052.
- Crim C., Celli B., Edwards L.D. et al. Respiratory system impedance with impulse oscillometry in healthy and COPD subjects: ECLIPSE baseline results. *Respir. Med.* 2011; 105 (7): 1069–1078. DOI: 10.1016/j.rmed.2011.01.010.

Received: January 30, 2019