

Возможности импульсной осциллометрии в диагностике функциональных нарушений бронхолегочной системы после перенесенного COVID-19

О.И. Савушкина^{1,2}, П.А. Астанин^{3,4}, Г.В. Неклюдова^{2,5}, С.Н. Авдеев^{2,5}, А.А. Зайцев^{1,6}

¹ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь им. акад. Н.Н. Бурденко» Минобороны России, Москва, Россия;

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

³ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия;

⁴ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. акад. Н.Ф. Измерова», Москва, Россия;

⁵ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия;

⁶ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», Москва, Россия

Аннотация

Обоснование. Импульсная осциллометрия (ИОС) – метод исследования механики дыхания, не требующий активного участия пациента. **Цель.** Изучить диагностическую значимость ИОС в оценке функционального состояния системы дыхания после перенесенного COVID-19. **Материалы и методы.** Проанализированы результаты спирометрии, бодиплетизмографии, диффузионного теста (DL_{CO}) и ИОС у 315 пациентов (медиана возраста – 48 лет), медиана времени от начала COVID-19 до проведения исследований – 50 дней. Статистический анализ включал описательную статистику, корреляционный анализ и одномерный логистический регрессионный анализ с оценкой отношений шансов.

Результаты. В общей группе показатели спирометрии и бодиплетизмографии сохранялись в норме, DL_{CO} оказался снижен у 61% пациентов. Параметры ИОС проанализированы в зависимости от величины DL_{CO} и общей емкости легких (ОЕЛ): норма или снижены. В общей группе площадь реактанта (АХ), абсолютная частотная зависимость резистанса Rrs5–Rrs20, резистанс при частоте осцилляций 5 Гц (Rrs5), отклонение реактанта при частоте осцилляций 5 Гц от должного значения ($\Delta Xrs5$) оказались увеличены у 29,8, 17,8, 6, 4,8% пациентов соответственно и статистически значимо выше в группе со сниженной ОЕЛ, тогда как в группе со сниженным DL_{CO} статистически значимо выше оказались АХ и Rrs5–Rrs20. Логистический регрессионный анализ показал, что при Rrs5–Rrs20 > 0,07 кПахс/л или АХ > 0,32 кПа/л шансы снижения DL_{CO} увеличивались в 1,99 и 2,24 раза, тогда как шансы снижения ОЕЛ увеличивались в 2,25 и 3,16 раза соответственно.

Заключение. ИОС позволяет выявлять дисфункцию мелких дыхательных путей (при увеличении АХ и Rrs5–Rrs20), а также риск нарушения вентилиации и диффузионной способности легких после перенесенного COVID-19.

Ключевые слова: COVID-19, импульсная осциллометрия, диффузионная способность легких, рестрикция, легочные функциональные тесты

Для цитирования: Савушкина О.И., Астанин П.А., Неклюдова Г.В., Авдеев С.Н., Зайцев А.А. Возможности импульсной осциллометрии в диагностике функциональных нарушений бронхолегочной системы после перенесенного COVID-19. Терапевтический архив. 2023;95(11):924–929. DOI: 10.26442/00403660.2023.11.202474

© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2023 г.

Информация об авторах / Information about the authors

✉ **Савушкина Ольга Игоревна** – канд. биол. наук, зав. отд. исследований функции внешнего дыхания Центра функционально-диагностических исследований ФГБУ «ГВКГ им. акад. Н.Н. Бурденко», ст. науч. сотр. лаб. функциональных и ультразвуковых методов исследования ФГБУ «НИИ пульмонологии». E-mail: olga-savushkina@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-7486-4990

Астанин Павел Андреевич – аспирант, ассистент каф. медицинской кибернетики и информатики ФГАОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова», науч. сотр. лаб. комплексных проблем оценки риска для здоровья населения и работающих ФГБНУ «НИИ медицины труда им. акад. Н.Ф. Измерова». ORCID: 0000-0002-1854-8686

Неклюдова Галина Васильевна – д-р мед. наук, вед. науч. сотр. лаб. функциональных и ультразвуковых методов исследования ФГБУ «НИИ пульмонологии», проф. каф. пульмонологии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет). ORCID: 0000-0002-9509-0867

Авдеев Сергей Николаевич – акад. РАН, д-р мед. наук, проф., рук. клин. отд. ФГБУ «НИИ пульмонологии», проректор по научной и инновационной работе, зав. каф. пульмонологии Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет). ORCID: 0000-0002-5999-2150

Зайцев Андрей Алексеевич – д-р мед. наук, проф., гл. пульмонолог ФГБУ «ГВКГ им. акад. Н.Н. Бурденко», зав. каф. пульмонологии (с курсом алергологии) Медицинского института непрерывного образования ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ». ORCID: 0000-0002-0934-7313

✉ **Olga I. Savushkina.** E-mail: olga-savushkina@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-7486-4990

Pavel A. Astanin. ORCID: 0000-0002-1854-8686

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

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

Andrey A. Zaytsev. ORCID: 0000-0002-0934-7313

The possibilities of impulse oscillometry in the diagnosis of the lung function disorders after COVID-19

Olga I. Savushkina^{1,2}, Pavel A. Astanin^{3,4}, Galina V. Nekludova^{2,5}, Sergey N. Avdeev^{2,5}, Andrey A. Zaytsev^{1,6}

¹Burdenko Main Military Clinical Hospital, Moscow, Russia;

²Federal Pulmonology Research Institute, Moscow, Russia;

³Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;

⁴Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, Russia;

⁵Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia;

⁶BIOTECH University, Moscow, Russia

Abstract

Background. Impulse oscillometry (IOS) is an effort independent method of studying lung mechanics.

Aim. To study the diagnostic significance of IOS in assessing lung mechanics after COVID-19.

Materials and methods. Spirometry, body plethysmography, diffusion test (DL_{CO}), IOS parameters were analyzed in 315 patients (the median age 48 years), the median period from the beginning of COVID-19 to the study was 50 days. Statistical analysis included descriptive statistics, correlation analysis and one-dimensional logistic regression analysis with an assessment of odds ratios.

Results. In general group, spirometry and body plethysmography parameters were in normal values, while DL_{CO} was reduced in 61% of patients. Parameters of IOS were analyzed in the general group and between the groups, depending on the value of DL_{CO} and total lung capacity (TLC): normal or reduced. In general group, reactance area (AX), heterogeneity of resistance $Rrs5-Rrs20$, resistance at 5 Hz ($Rrs5$), reactance at 5 Hz ($\Delta Xrs5$) were increased in 29.8, 17.8, 6, 4.8% of patients, respectively, and were statistically significantly higher in the group with reduced TLC, whereas in the group with reduced DL_{CO} AX, $Rrs5-Rrs20$ were statistically significantly higher. Logistic regression analysis showed that patients with $Rrs5-Rrs20 > 0.07$ kPa \times s/l or $AX > 0.32$ kPa/l had a 1.99-fold and 2.24-fold increased risk for decrease DL_{CO} , respectively, while the risk of decrease in TLC was 2.25-fold ($p=0.012$) and 3.16-fold ($p<0.001$) higher, respectively.

Conclusion. IOS allow to detect both dysfunction of small airways (if AX or $Rrs5-Rrs20$ are increased) and the risk of restrictive pattern and lung diffusion impairment after COVID-19.

Keywords: COVID-19, impulse oscillometry, lung diffusion capacity, restrictive pattern, pulmonary functional tests

For citation: Savushkina OI, Astanin PA, Nekludova GV, Avdeev SN, Zaytsev AA. The possibilities of impulse oscillometry in the diagnosis of the lung function disorders after COVID-19. *Terapevticheskiy Arkhiv (Ter. Arkh.)*. 2023;95(11):924–929. DOI: 10.26442/00403660.2023.11.202474

Данные, получаемые при исследовании бронхолегочной системы с использованием методов функциональной диагностики, служат важным дополнением к выявляемым клинико-anamnestическим, физикальным, лабораторным и рентгенологическим находкам. В совокупности они обеспечивают понимание механизмов развития и течения заболевания. Исследование механики дыхания и диффузионной способности легких (ДСЛ) позволяет оценить тяжесть функциональных нарушений системы дыхания, эффективность проводимого лечения, спрогнозировать течение заболевания у пациентов с бронхолегочной патологией.

Спирометрия является «золотым стандартом» исследования механики дыхания. Однако этот метод требует выполнения форсированных дыхательных маневров и хорошей кооперации пациента с персоналом, проводящим исследование.

Бодиплетизмография, позволяющая оценивать общую емкость легких (ОЕЛ) и бронхиальное аэродинамическое сопротивление (Raw), также требует хорошей кооперации пациента с медицинским персоналом.

В 1956 г. A. Dubois и соавт. для исследования механики дыхания предложили новый метод форсированных осцилляций, в современной модификации – это импульсная осциллометрия (ИОС) [1]. Принципиальным отличием осцилляторной механики дыхания от классической является изучение механических свойств аппарата вентиляции как функции частоты. Анализ отраженных сигналов дает возможность оценивать дыхательный импеданс (Zrs), который характеризует механические свойства респираторной системы в целом, а именно дыхательных путей (ДП), легочной паренхимы и грудной клетки. Дыхательный импеданс включает резистивный компонент (резистанс, Rrs), который характеризует изменения сопротивления ДП, обусловленные бронхоспазмом или воспалением, и реактивный компонент (реактанс, Xrs), характеризующий эластическое и инерционное сопротивления респираторной системы.

При проведении ИОС все измерения осуществляются при спокойном дыхании в течение 30–60 с и не требуют активного участия пациента [2]. Вместе с тем существует еще ряд преимуществ ИОС перед другими легочными функциональными тестами (ЛФТ), а именно: ИОС позволяет дифференцированно оценивать проходимость ДП в зависимости от их калибра. Возможность оценить состояние дистальных отделов ДП относится к преимуществам ИОС и позволяет эффективно применять этот метод при диагностике и лечении заболеваний легких, проявляющихся бронхиальной обструкцией, прежде всего при бронхиальной астме [3].

Кроме того, по мнению ряда авторов, реактанс на частоте осцилляций 5 Гц (X5) отражает эластические свойства респираторной системы: чем меньше комплаенс, тем более отрицательное значение принимает X5 [1, 4, 5]. Однако D. Kaminsky и соавт. считают [3], что более чувствительным параметром, отражающим эластические свойства респираторной системы, является площадь под кривой реактанса (AX).

Несмотря на многие преимущества ИОС, остается ряд вопросов относительно интерпретации полученных результатов при различных вариантах вентиляционных нарушений.

Вместе с тем показано, что ИОС в отличие от спирометрии позволяет получить более детальную информацию относительно патофизиологических аспектов вентиляционных нарушений. Так, при одинаковом значении объема форсированного выдоха за 1-ю секунду ($ОФВ_1$) у больных хронической обструктивной болезнью легких, бронхиальной астмой, идиопатическим легочным фиброзом, а также при обструкции верхних ДП показатели ИОС отличаются [6].

Нами также проведены собственные исследования возможностей ИОС в диагностике нарушений механики дыхания у пациентов с различной бронхолегочной патологией (саркоидоз легких, идиопатический легочный фиброз, бронхиальная астма, хроническая обструктивная болезнь легких) [7–10].

Цель исследования – изучение диагностической значимости ИОС в оценке функционального состояния системы дыхания после перенесенного COVID-19.

Материалы и методы

Выполнено ретроспективное обсервационное исследование, в которое включены пациенты с диагнозом «состояние после COVID-19» (U09.9), у которых по данным компьютерной томографии органов грудной клетки (КТ ОГК) регистрировались поствоспалительные изменения легочной ткани (участки консолидации, ретикулярные изменения). Проанализированы демографические показатели, данные КТ ОГК и результаты ЛФТ: спирометрии, бодиплетизмографии, диффузионного теста, ИОС.

Критерии включения: возраст 18 лет и старше; COVID-19, подтвержденный методом полимеразной цепной реакции; COVID-19-ассоциированное поражение легких; результаты КТ ОГК, полученные в острый период заболевания, с указанием доли максимального поражения легких (КТ_{макс}).

Критерии невключения: наличие в анамнезе заболеваний бронхолегочной системы.

Критерий исключения: неудовлетворительное выполнение хотя бы одного ЛФТ.

В исследование включены 315 пациентов; 245 (78%) мужчин. Медиана возраста в общей группе составила 48 [42; 57] лет, длительность от начала COVID-19 до проведения ЛФТ – 50 [28; 113] дней.

Большинство пациентов являлись некурящими и имели избыточную массу тела (медиана индекса массы тела – 30 кг/м²).

Искусственная вентиляция легких проведена 9 пациентам.

Медиана КТ_{макс} составила 50 [32; 75]%; у 44 (14,0%) пациентов КТ_{макс} – менее 25% (КТ-1), у 90 (28,6%) – 25–49% (КТ-2), у 120 (38,1%) – 50–75% (КТ-3), у 61 (19,4%) – более 75% (КТ-4).

Проанализированы: форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ), ОФВ₁, спокойная жизненная емкость легких (ЖЕЛ), отношение ОФВ₁/ЖЕЛ, ОЕЛ, остаточный объем легких (ООЛ), отношение ООЛ/ОЕЛ, функциональная ОЕЛ (ФОЕ_{пл}), емкость вдоха (Е_{вд}), общее бронхиальное аэродинамическое сопротивление (Raw_{общ}), трансфер-фактор монооксида углерода (СО), скорректированный на уровень гемоглобина (DL_{CO}), резистанс при частоте осцилляций 5 и 20 Гц (R5 и R20 соответственно), отклонение реактанса при частоте осцилляций 5 Гц от должного значения (ΔX5), абсолютная частотная зависимость резистанса R5-R20, резонансная частота (f_{res}), АХ.

Пациенты разделены на 2 группы как в зависимости от величины DL_{CO}: 1-я группа – DL_{CO} в пределах нормы, 2-я группа – DL_{CO} снижен (<80% долж.), так и в зависимости от величины ОЕЛ: группа А – ОЕЛ в пределах нормы, группа Б – ОЕЛ снижена (<80% долж.).

ЛФТ проводились в течение одного визита на оборудовании MasterScreen Body/Diff (Viasys Healthcare или Vyair Medical, Erich Jager, Германия). Все исследования выполнены с учетом требований отечественных и международных стандартов [11–15]. Анализируемые данные спирометрии, бодиплетизмографии, диффузионного теста представлены в процентах от должных значений (%долж.), которые вычислялись с использованием уравнений Европейского общества угля и стали (1993 г.). Степень выраженности отклонения от нормы параметра DL_{CO} оценивалась согласно рекомендациям Американского торакального общества и Европейского респираторного общества [12].

Таблица 1. Показатели спирометрии, бодиплетизмографии и диффузионного теста

Table 1. Parameters of spirometry, body plethysmography and diffusion test

Показатель	Общая группа (n=315; 100%)
ЖЕЛ, %долж.	102 [87,0; 112]
ФЖЕЛ, %долж.	104 [89,0; 115]
ОФВ ₁ , %долж.	102 [90,0; 113]
ОФВ ₁ /ЖЕЛ, %	80,0 [76,0; 84,0]
ОФВ ₁ /ЖЕЛ<0,7, абс. (%)	23 (7,3)
ОЕЛ, %долж.	97,0 [83,0; 107]
ОЕЛ<80%долж., абс. (%)	63 (20,0)
ФОЕ _{пл} , %долж.	90,0 [74,0; 104]
ООЛ, %долж.	92,0 [78,0; 106]
ООЛ/ОЕЛ, %долж	91,0 [84,0; 98,0]
Е _{вд} , %долж.	107 [90,0; 121]
Raw _{общ} , кПа×с/л	0,24 [0,19; 0,29]
DL _{CO} , %долж	75,0 [62; 89,0]
DL _{CO} <80%долж., абс. (%)	191 (60,6)

Примечание. Здесь и далее в табл. 3: данные представлены как количество и (доля, %) или медиана [межквартильный размах]; %долж. – процент от должного значения.

При анализе параметров ИОС использованы уравнения должных значений, разработанные в 1994 г. [16].

Интерпретация параметров ИОС проведена с использованием следующих нормативных данных: R5<150%долж. [17], R5-R20<0,08 кПа×с/л [18], ΔX5<0,15 кПа×с/л [17], АХ<0,33 кПа/л [1], f_{res}<12 Гц [1].

Статистическая обработка данных производилась в программно-прикладном пакете SPSS 23. Количественные и ранговые признаки описывались с использованием медианы и межквартильного размаха (Me [Q1; Q3]). Для описания качественных признаков рассчитывались их доли в общей структуре с последующим выражением в процентах – абс. (%). Для сравнения групп применялся непараметрический критерий Манна-Уитни. Оценка различий между качественными признаками выполнялась с использованием критерия χ². Выполнен одномерный логистический регрессионный анализ с оценкой отношений шансов (ОШ). Статистически значимыми считались результаты проверки статистических гипотез при p<0,050.

Результаты

Результаты исследования представлены в табл. 1–4.

Из табл. 1 следует, что медианы параметров легочной вентиляции и ДСЛ находились в пределах нормы.

Однако выявлено снижение отношения ОФВ₁/ЖЕЛ (<0,7) у 23 (7,3%) пациентов, что позволило диагностировать нарушение вентиляции по obstructivному типу.

У 63 (20,0%) пациентов выявлено снижение ОЕЛ при ОФВ₁/ЖЕЛ в пределах нормы, что дало основание установить нарушение вентиляции по рестриктивному типу.

Показатель DL_{CO} снижен у 191 (61%) пациента, его медиана составила 75% долж.

В табл. 2 представлены результаты ИОС в общей группе и в зависимости от величины параметра DL_{CO}: 1-я группа [124 (39%) пациента] – DL_{CO} в пределах нормы, 2-я группа [191 (61%) пациент] – DL_{CO} снижен.

Таблица 2. Показатели ИОС в общей группе и в группах в зависимости от величины DL_{CO}**Table 2. Parameters of impulse oscillometry in the general group and in groups depending on the value of DL_{CO}**

Показатель	Общая группа (n=315; 100%)	DL _{CO}		p
		1-я группа Норма (n=124; 39%)	2-я группа Снижен (n=191; 61%)	
R5, %долж.	100 [85,2; 119]	100 [82,8; 121]	100 [85,7; 119]	0,587 ²
R5≥150%долж., абс. (%)	19 (6,0)	5 (4,0)	14 (7,3)	0,230 ¹
R20, %долж.	100 [88,5; 117]	100 [91,5; 121]	100 [87,0; 114]	0,245 ²
R5-R20, кПа×с/л	0,04 [0,02; 0,06]	0,03 [0,01; 0,05]	0,04 [0,02; 0,07]	0,001²
R5-R20≥0,08 кПа×с/л, абс. (%)	56 (17,8)	15 (14,2)	41 (20,7)	0,034¹
ΔX5, кПа×с/л	0,07 [0,04; 0,10]	0,06 [0,04; 0,09]	0,07 [0,05; 0,10]	0,108 ²
ΔX5≥0,15 кПа×с/л, абс. (%)	15 (4,8)	4 (3,2)	11 (5,8)	0,419 ¹
f _{res} , Гц	11,2 [8,79; 14,2]	9,34 [8,21; 13,2]	12,1 [9,31; 14,9]	<0,001²
f _{res} ≥12 Гц, абс. (%)	138 (43,8)	40 (32,3)	87 (45,5)	0,001¹
AX, кПа/л	0,22 [0,11; 0,38]	0,13 [0,09; 0,29]	0,25 [0,12; 0,43]	<0,001²
AX≥0,33 кПа/л, абс. (%)	94 (29,8)	25 (20,2)	69 (36,1)	0,002¹

Примечание. Здесь и далее в табл. 3: p – уровень статистической значимости, ¹критерий χ², ²критерий Манна-Уитни.

Таблица 3. Показатели ИОС в общей группе и в группах в зависимости от величины ОЕЛ**Table 3. Parameters of impulse oscillometry in the general group and in groups depending on the value of total lung capacity**

Показатель	ОЕЛ		p
	группа А Норма (n=252; 80%)	группа Б Снижен (n=63; 20%)	
R5, %долж.	100 [82,8; 117]	107 [92,9; 122]	0,023²
R5≥150%долж., абс. (%)	14 (5,6)	5 (7,9)	0,552 ¹
R20, %долж.	100 [88,5; 119]	104 [88,5; 115]	0,948 ²
R5-R20, кПа×с/л	0,03 [0,01; 0,06]	0,06 [0,04; 0,09]	<0,001²
R5-R20≥0,08 кПа×с/л, абс. (%)	38 (15,1)	18 (28,6)	0,012 ¹
ΔX5, кПа×с/л	0,06 [0,04; 0,09]	0,10 [0,07; 0,12]	<0,001²
ΔX5≥0,15 кПа×с/л, абс. (%)	9 (3,6)	6 (9,5)	0,047 ¹
f _{res} , Гц	10,4 [8,31; 14,0]	13,3 [11,4; 15,8]	<0,001²
f _{res} ≥12 Гц, абс. (%)	95 (37,7)	43 (68,3)	<0,001¹
AX, кПа/л	0,16 [0,09; 0,32]	0,35 [0,23; 0,53]	<0,001²
AX≥0,33 кПа/л, абс. (%)	62 (24,6)	32 (50,8)	<0,001¹

Из табл. 2 следует, что медианы показателей ИОС оставались в пределах нормы. Однако обращает на себя внимание, что в общей группе параметры f_{res}, AX, R5-R20, R5 и ΔX5 оказались увеличены у 43,8, 29,8, 17,8, 6,0, 4,8% пациентов соответственно. Между 1 и 2-й группами выявлены статистически значимые различия по показателям R5-R20, f_{res} и AX, а также частот их патологических отклонений (выше во 2-й группе).

В табл. 3 представлены результаты ИОС в зависимости от величины параметра ОЕЛ: группа А [252 (80%) пациен-

Таблица 4. Результаты одномерного логистического регрессионного анализа**Table 4. Results of one-dimensional logistic regression analysis**

Параметр	ОШ		p ₁ /p ₂
	[ДИ _{нижн} -95%; ДИ _{верх} -95%] снижение DL _{CO}	[ДИ _{нижн} -95%; ДИ _{верх} -95%] снижение ОЕЛ	
R5≥150%долж.	1,882 [0,661; 5,365]	1,466 [0,507; 4,233]	0,230/ 0,478
R5-R20≥0,08 кПа×с/л	1,986 [1,046; 3,770]	2,253 [1,180; 4,299]	0,034/ 0,012
ΔX5≥0,15 кПа×с/л	1,833 [0,570; 5,892]	2,842 [1,048; 8,307]	0,419/ 0,047
AX≥0,33 кПа/л	2,240 [1,320; 3,800]	3,163 [1,787; 5,600]	0,002/ <0,001

Примечание. p₁ – уровень статистической значимости для оценки ОШ по снижению DL_{CO}; p₂ – уровень статистической значимости для оценки ОШ по снижению ОЕЛ.

тов] – ОЕЛ в пределах нормы, группа Б [63 (20%) пациентов] – ОЕЛ снижена.

Из табл. 3 следует, что между группами А и Б выявлены статистически значимые различия по показателям R5, R5-R20, ΔX5, f_{res} и AX, а также частот патологических отклонений f_{res} и AX (выше в группе Б).

С целью выявления предикторов снижения DL_{CO} и ОЕЛ с помощью одномерного логистического регрессионного анализа изучены показатели ИОС (табл. 4). Значения параметра R5-R20≥0,08 кПа×с/л оказались статистически значимо ассоциированы с увеличением риска снижения DL_{CO} в 1,99 раза (95% доверительный интервал – ДИ 1,046–3,77; p=0,034) и ОЕЛ – в 2,25 раза (95% ДИ 1,18–4,3; p=0,012). Значения параметра AX≥0,33 кПа/л являлись статистически значимо ассоциированы с увеличением риска снижения DL_{CO} в 2,24 раза (95% ДИ 1,32–3,8; p=0,002) и ОЕЛ – в 3,16 раза (95% ДИ 1,78–5,6; p<0,001).

Обсуждение

С начала пандемии COVID-19 уже накоплены знания о патогенезе заболевания и его последствиях, включая функциональные нарушения системы дыхания (самым частым из которых является нарушение ДСЛ), за которым следует нарушение вентиляции по рестриктивному типу [19–22]. Полученные ранее данные также подтверждаются результатами настоящего исследования: в среднем по группе оказались снижены DL_{CO} – у 61%, ОЕЛ – у 20%, отношение ОФВ₁/ЖЕЛ – у 7% пациентов. При наблюдении за пациентами в постковидном периоде F. Steinbeis и соавт. [23] установлено, что легочные объемы в течение года восстанавливаются, в то время как восстановление ДСЛ происходит более медленно. Вместе с тем отмечено, что у части пациентов после перенесенного COVID-19 сохраняются жалобы на усталость, утомляемость, одышку, на плохую переносимость физических нагрузок [24].

Для оценки механики дыхания в постковидном периоде чаще всего применяют спирометрию и бодиплетизмографию, и лишь в немногочисленных лабораториях использован метод ИОС [19, 25, 26], в том числе и в наших собственных исследованиях [21, 27].

Так, P. Tamminen и соавт. [25] выполнили ИОС 43 пациентам в острый период COVID-19 легкого течения, подтвержденного методом полимеразной цепной реакции (1-я группа), и 39 пациентам в острый период респираторной инфекции, отличной от COVID-19 (тест методом полимеразной цепной реакции на COVID-19 отрицательный; 2-я группа), и выявили статистически значимые различия по параметрам R5-R20 и AX (выше в 1-й группе). Принимая во внимание, что параметры R5-R20 и AX являются функциональными маркерами мелких (дистальных) ДП [28], авторы сделали заключение о наличии данной патологии у пациентов из 1-й группы с подтвержденным COVID-19.

В настоящем исследовании патологическое отклонение параметра R5-R20 выявлено в 17,8%, AX – в 29,8% случаев, что также позволило судить о дисфункции мелких ДП. Необходимо отметить, что обструкция ДП по данным спирометрии выявлена лишь у 7% пациентов, что дает основание признать преимущество ИОС в обнаружении патологии ДП, прежде всего в дистальных отделах бронхиального дерева, что также подтверждается и при других заболеваниях легких [29].

Частота патологического отклонения параметра f_{res} в общей группе составила 43,8%. Однако необходимо отметить, что увеличение f_{res} всегда связано с изменением X5 и AX, поэтому самостоятельного диагностического значения этот показатель не имеет.

Логистический регрессионный анализ с оценкой ОШ в зависимости от величин DL_{CO} и ОЕЛ (в норме или снижен) показал, что при выявлении патологических отклонений параметров R5-R20 и AX риск нарушения ДСЛ увеличи-

вался в 2 раза, тогда как риск снижения ОЕЛ увеличивался в 2 и 3 раза соответственно.

Сопоставить полученные данные с данными других исследований не представилось возможным, поскольку в доступной нам литературе аналогичные работы не найдены.

Заключение

ИОС позволяет выявлять дисфункцию мелких ДП, а также риск нарушения вентиляции и ДСЛ после перенесенного COVID-19. С учетом преимуществ ИОС этот метод целесообразно включать в план обследования пациентов после перенесенного COVID-19.

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

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

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

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

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

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

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

Соответствие принципам этики. Протокол исследования одобрен Этическим комитетом ФГБУ «ГВКГ им. акад. Н.Н. Бурденко» (протокол №04-22 от 20.04.2022). Одобрение и процедуру проведения протокола получали по принципам Хельсинкской конвенции.

Ethics approval. The study protocol was approved by the Ethics Committee of the Burdenko Main Military Clinical Hospital (Protocol No. 04-22, April 20, 2022). The approval and procedure for the protocol were obtained in accordance with the principles of the Helsinki Convention.

Список сокращений

ДИ – доверительный интервал
ДП – дыхательные пути
ДСЛ – диффузионная способность легких
ЖЕЛ – жизненная емкость легких
ИОС – импульсная осциллометрия
КТ_{max} – доля максимального поражения легких
КТ ОГК – компьютерная томография органов грудной клетки
ЛФТ – легочные функциональные тесты
ОЕЛ – общая емкость легких

ООЛ – остаточный объем легких
ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду
ОШ – отношение шансов
ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких
AX – площадь реактанса
 DL_{CO} – трансфер-фактор монооксида углерода, скорректированный на уровень гемоглобина
 f_{res} – резонансная частота
 $Raw_{общ}$ – общее бронхиальное аэродинамическое сопротивление

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Brashier B. Measuring lung function using sound waves: role of the forced oscillation technique and impulse oscillometry system. *Breath*. 2015;11(1):57-65. DOI:10.1183/20734735.020514
- Легочно-функциональные тесты: от теории к практике: Руководство для врачей. Под ред. О.И. Савушкиной, А.В. Черняка. М.: Фирма Стром, 2017 [Legochno-funktsional'nye testy: ot teorii k praktike: Rukovodstvo dlia vrachei. Pod red. OI Savushkinoi, AV Cherniaka. Moscow: Firma Strom, 2017 [(in Russian)].
- Kaminsky DA, Simpson SJ, Berger KI, et al. Clinical significance and applications of oscillometry. *Eur Respir Rev*. 2022;31(163):210208. DOI:10.1183/16000617.0208-2021
- Bickel S, Popler J, Lesnick B, Eid N. Impulse oscillometry: interpretation and practical applications. *Chest*. 2014;146(3):841-7. DOI:10.1378/chest.13-1875
- Durack T, Chapman DG, Rutting S, et al. Dynamic compliance and reactance in older non-smokers with asthma and fixed airflow obstruction. *Eur Respir J*. 2021;58(2):2004400. DOI:10.1183/13993003.04400-2020
- Liang X, Zheng J, Gao Y, et al. Clinical application of oscillometry in respiratory diseases: an impulse oscillometry registry. *ERJ Open Res*. 2022;8:00080-2022. DOI:10.1183/23120541.00080-2022
- Савушкина О.И., Черняк А.В., Зайцев А.А., Кулагина И.Ц. Информативность импульсной осциллометрии в выявлении вентиляционных нарушений у больных со впервые диагностированным саркоидозом органов дыхания. *Пульмонология*. 2017;27(4):439-45 [Savushkina OI, Chernyak AV, Zaytsev AA, Kulagina IT. An informative value of impulse oscillometry for diagnosis of ventilation abnormalities in patients with newly diagnosed pulmonary sarcoidosis. *Pulmonologiya*. 2017;27(4):439-45 (in Russian)]. DOI:10.18093/0869-0189-2017-27-4-439-445
- Савушкина О.И., Черняк А.В., Каменева М.Ю., и др. Информативность импульсной осциллометрии в выявлении вентиляционных нарушений рестриктивного типа при идиопатическом легочном фиброзе. *Пульмонология*. 2018;28(3):325-31 [Savushkina OI, Chernyak AV, Kameneva MYu, et al. An informative value of impulse oscillometry for detecting restrictive abnormalities in idiopathic pulmonary fibrosis. *Russian Pulmonology*. 2018;28(3):325-31 (in Russian)]. DOI:10.18093/0869-0189-2018-28-3-325-331
- Савушкина О.И., Черняк А.В., Крюков Е.В. Возможности импульсной осциллометрии в диагностике дисфункции мелких дыхательных путей у больных бронхиальной астмой. *Медицинский альянс*. 2020;8(2):72-8 [Savushkina OI, Chernyak AV, Kryukov EV. Possibilities of pulse oscillometry in the diagnosis of small airway dysfunction in patients with bronchial asthma. *Medicinskii al'ians*. 2020;8(2):72-8 (in Russian)]. DOI:10.36422/23076348-2020-8-2-72-78
- Савушкина О.И., Черняк А.В., Крюков Е.В. и др. Импульсная осциллометрия в диагностике нарушений механики дыхания при хронической обструктивной болезни легких. *Пульмонология*. 2020;30(3):285-94 [Savushkina OI, Chernyak AV, Kryukov EV, et al. Impulse oscillometry in the diagnosis of respiratory mechanics defects in chronic obstructive pulmonary disease. *Pulmonologiya*. 2020;30(3):285-94 (in Russian)]. DOI:10.18093/0869-0189-2020-30-3-285-294
- Российское респираторное общество. Методическое руководство: Спирометрия. Режим доступа: <https://spulmo.ru>. Ссылка активна на 30.06.2023 [Russian Respiratory Society. Methodological guidance: Spirometry. Available at: <https://spulmo.ru>. Accessed: 30.06.2023 (in Russian)].
- Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J*. 2005;26(5):948-68. DOI:10.1183/09031936.05.00035205
- Wanger J, Clausen JL, Coates A, et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. *Eur Respir J*. 2005;26(3):511-22. DOI:10.1183/09031936.05.00035005
- Graham BL, Brusasco V, Burgos F, et al. 2017 ERS/ATS Standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung. *Eur Respir J*. 2017;49(1):1600016. DOI:10.1183/13993003.00016-2016
- King GG, Bates J, Berger KI, et al. Technical standards for respiratory oscillometry. *Eur Respir J*. 2020;55(2):1900753. DOI:10.1183/13993003.00753-2019
- Vogel J, Smidt U. Impulse oscillometry: analysis of lung mechanics in general practice and the clinic, epidemiological and experimental research. Frankfurt am Main; Moskau; Sennwald; Wien: pmi-Verl-Gruppe, 1994.
- Bednarek M, Grabicki M, Piorunek T, et al. Current place of impulse oscillometry in the assessment of pulmonary diseases. *Respir Med*. 2020;170:105952. DOI:10.1016/j.rmed.2020.105952
- Galant SP, Komarow HD, Shin HW, et al. The case for impulse oscillometry in the management of asthma in children and adults. *Ann Allergy Asthma Immunol*. 2017;118:664-71. DOI:10.1016/j.anai.2017.04.009
- Huang Y, Tan C, Wu J, et al. Impact of coronavirus disease 2019 on pulmonary function in early convalescence phase. *Respir Res*. 2020;21(1):163. DOI:10.1186/s12931-020-01429-6
- Huntley CC, Patel K, Bil Bushra SE, et al. Pulmonary function test and computed tomography features during follow-up after SARS, MERS and COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *ERJ Open Res*. 2022;8(2):00056-2022. DOI:10.1183/23120541.00056-2022
- Савушкина О.И., Черняк А.В., Крюков Е.В., и др. Динамика функционального состояния системы дыхания через 4 месяца после перенесенного COVID-19. *Пульмонология*. 2021;31(5):580-7 [Savushkina OI, Cherniak AV, Kryukov EV, et al. Follow-up pulmonary function of COVID-19 patients 4 months after hospital discharge. *Pulmonologiya*. 2021;31(5):580-6 (in Russian)]. DOI:10.18093/0869-0189-2021-31-5-580-587
- Sanchez-Ramirez DC, Normand K, Zhaoyun Y, Torres-Castro R. Long-Term Impact of COVID-19: A Systematic Review of the Literature and Meta-Analysis. *Biomedicines*. 2021;9(8):900. DOI:10.3390/biomedicines9080900
- Steinbeis F, Thibeault C, Doellinger F, et al. Severity of respiratory failure and computed chest tomography in acute COVID-19 correlates with pulmonary function and respiratory symptoms after infection with SARS-CoV-2: An observational longitudinal study over 12 months. *Lancet Respir Med*. 2022;191:106709. DOI:10.1016/j.rmed.2021.106709
- Ma Y, Deng J, Liu Q, et al. Long-Term Consequences of COVID-19 at 6 Months and Above: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(11):6865. DOI:10.3390/ijerph19116865
- Tamminen P, Kerimov D, Viskari H, et al. Lung function during and after acute respiratory infection in COVID-19 positive and negative outpatients. *Eur Respir J*. 2022;59(3):2102837. DOI:10.1183/13993003.02837-2021
- Lindahl A, Reijula J, Malmberg LP, et al. Small airway function in Finnish COVID-19 survivors. *Respir Res*. 2021;22(1):237. DOI:10.1186/s12931-021-01830-9
- Крюков Е.В., Савушкина О.И., Черняк А.В., Кулагина И.Ц. Диагностика неравномерности легочной вентиляции методом вымывания азота при множественном дыхании у больных, перенесших COVID-19. *Пульмонология*. 2021;31(1):30-6 [Kryukov EV, Savushkina OI, Chernyak AV, Kulagina IC. Diagnosing ventilation inhomogeneity after COVID-19 by multiple-breath nitrogen washout test. *Pulmonologiya*. 2021;31(1):30-6 (in Russian)]. DOI:10.18093/0869-0189-2021-31-1-30-36
- Goldman MD, Saadeh C, Ross D. Clinical applications of forced oscillation to assess peripheral airway function. *Respir Physiol Neurobiol*. 2005. DOI:10.1016/j.resp.2005.05.026
- Duman D, Taştı ÖF, Merve Tepetam F. Assessment of small airway dysfunction by impulse oscillometry (IOS) in COPD and IPF patients. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2023;27(7):3033-44. DOI:10.26355/eurrev_202304_31937

Статья поступила в редакцию / The article received: 11.07.2023

