

УДК 616.248:616.24-002:616-073.756.3]:«COVID-19»

DOI: 10.36604/1998-5029-2026-101-22-33

ФУНКЦИОНАЛЬНО-РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕГКИХ У ПАЦИЕНТОВ С БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМОЙ, ПЕРЕНЕСШИХ COVID-19-АССОЦИИРОВАННУЮ ПНЕВМОНИЮ

Е.А.Игнатьева, А.В.Ильин, А.Г.Приходько, Ю.М.Перельман

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания», 675000, г. Благовещенск, ул. Калинина, 22

РЕЗЮМЕ. Цель. Изучить показатели компьютерной томографии (КТ) у пациентов с бронхиальной астмой (БА), перенесших COVID-19-ассоциированную пневмонию. **Материалы и методы.** У больных БА с легким персистирующим течением болезни ($n = 68$, группа 1) и БА средней степени тяжести ($n = 58$, группа 2) анализировали параметры спирометрии, бодиплетизмографии, а также КТ легких в инспираторную и экспираторную фазы дыхания. **Результаты.** При анализе данных спирометрии в 1 и 2 группах объем форсированного выдоха за 1 секунду ($ОФВ_1$) составлял $90,7 \pm 1,5\%$ и $72,4 \pm 2,0\%$ долж., соответственно ($p = 0,0001$); средняя объемная скорость выдоха на уровне 25–75% форсированной жизненной емкости легких ($СОС_{25-75}$) – $65,3 \pm 2,6\%$ и $40,3 \pm 1,8\%$ долж., соответственно ($p = 0,0001$). При КТ-исследовании были зарегистрированы достоверные различия значений экспираторной воздухонаполненности обоих легких ($ЭВ2$) – 69 (25; 381) и 637 (219; 1157) мл, соответственно ($p < 0,001$). Разность внутренних диаметров бронха V_1 на вдохе и выдохе ($ВДБ_1$ – $ВДБ_{1В}$) составила $0,31 \pm 0,08$ и $0,56 \pm 0,09$ мм ($p = 0,043$); разность $ВДБ_{10}$ – $ВДБ_{10В}$ – $0,87 \pm 0,11$ и $0,37 \pm 0,08$ мм, соответственно ($p = 0,001$). Проведенный корреляционный анализ в обеих группах показал тесную связь экспираторной воздухонаполненности обоих легких ($ЭВ2$) с $ОФВ_1/ЖЕЛ$ ($r = -0,41$; $p = 0,006$ и $r = -0,38$; $p = 0,023$) и возрастом пациентов ($r = 0,46$; $p = 0,002$ и $r = 0,39$; $p = 0,018$) соответственно. У больных 2 группы внутренний диаметр бронха V_1 при выдохе напрямую коррелировал с бронхиальным сопротивлением Raw_{ex} ($R_s = 0,53$; $p = 0,005$), также прослеживалась связь плотности стенки бронха ($ПСБ_{10}$) с $СОС_{25-75}$ ($r = -0,44$; $p = 0,0003$) и реакцией дыхательных путей на бронхолитик $\Delta ОФВ_{10}$ ($R_s = 0,43$; $p = 0,002$). **Заключение.** У пациентов с БА, перенесших COVID-19-ассоциированную пневмонию, выявлены функциональные и морфологические изменения дыхательной системы, степень выраженности которых возрастает при среднетяжелом течении заболевания и сопровождается ухудшением показателей вентиляционной функции легких и изменениями бронхиального дерева. Необходим комплексный функционально-лучевой мониторинг данной категории пациентов для своевременного выявления и коррекции постпневмонических нарушений.

Ключевые слова: бронхиальная астма, пневмония, COVID-19, мультиспиральная компьютерная томография, денситоволюметрия, морфометрия бронхов, функция внешнего дыхания.

FUNCTIONAL AND RADIOLOGICAL EXAMINATION OF THE LUNGS IN PATIENTS WITH BRONCHIAL ASTHMA WHO HAVE RECOVERED FROM COVID-19-ASSOCIATED PNEUMONIA

E.A.Ignat'eva, A.V.Ilyin, A.G.Prikhodko, J.M.Perelman

Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration, 22 Kalinina Str., Blagoveshchensk, 675000, Russian Federation

SUMMARY. Aim. To study computed tomography (CT) parameters in patients with bronchial asthma (BA) who have

Контактная информация

Елена Александровна Игнатьева, канд. мед. наук, врач-рентгенолог, лаборатория функциональных методов исследования дыхательной системы, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания», 675000, Россия, г. Благовещенск, ул. Калинина, 22. E-mail: elena_ignat'eva_83@list.ru

Correspondence should be addressed to

Elena A. Ignat'eva, PhD (Med.), Roentgenologist of Department of X-Ray Diagnostics, Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration, 22 Kalinina Str., Blagoveshchensk, 675000, Russian Federation. E-mail: elena_ignat'eva_83@list.ru

Для цитирования:

Игнатьева Е.А., Ильин А.В., Приходько А.Г., Перельман Ю.М. Функционально-рентгенологическое исследование легких у пациентов с бронхиальной астмой, перенесших COVID-19-ассоциированную пневмонию // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2026. Вып.101. С.22–33. DOI: 10.36604/1998-5029-2026-101-22-33

For citation:

Ignat'eva E.A., Ilyin A.V., Prikhodko A.G., Perelman J.M. Functional and radiological examination of the lungs in patients with bronchial asthma who have recovered from COVID-19-associated pneumonia. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2026; (101):22–33 (in Russian). DOI: 10.36604/1998-5029-2026-101-22-33

recovered from COVID-19-associated pneumonia. **Materials and methods.** In patients with mild persistent BA ($n = 68$, group 1) and moderate BA ($n = 58$, group 2), spirometry and body plethysmography parameters, as well as lung CT data in inspiratory and expiratory phases of breathing, were analyzed. **Results.** Spirometry analysis in groups 1 and 2 showed that the forced expiratory volume in 1 second (FEV_1) was 90.7 ± 1.5 and $72.4 \pm 2.0\%$ of predicted, respectively ($p = 0.0001$); the mean forced expiratory flow at 25–75% of forced vital capacity (FEF_{25-75}) was 65.3 ± 2.6 and $40.3 \pm 1.8\%$ of predicted, respectively ($p = 0.0001$). CT examination revealed significant differences in postexpiratory air content of both lungs (EAC2) – 69 (25; 381) and 637 (219; 1157) ml, respectively ($p < 0.001$). The difference in internal diameters of the B1 bronchus between inspiration and expiration ($IDB_{i1} - IDB_{exp1}$) was 0.31 ± 0.08 and 0.56 ± 0.09 mm ($p = 0.043$); the difference in $IDB_{i10} - IDB_{exp10}$ was 0.87 ± 0.11 and 0.37 ± 0.08 mm, respectively ($p = 0.001$). Correlation analysis in both groups demonstrated a strong association of postexpiratory air content of both lungs (EAC2) with FEV_1/FVC ratio ($r = -0.41$; $p = 0.006$ and $r = -0.38$; $p = 0.023$) and patient age ($r = 0.46$; $p = 0.002$ and $r = 0.39$; $p = 0.018$), respectively. In group 2 patients, the internal diameter of the B1 bronchus during expiration directly correlated with expiratory airway resistance $R_{aw\ ex}$ ($R_s = 0.53$; $p = 0.005$); furthermore, an association was observed between bronchial wall density (BWD_{i10}) and FEF_{25-75} ($r = -0.44$; $p = 0.0003$) and the airway response to a bronchodilator ΔFEV_{1bd} ($R_s = 0.43$; $p = 0.002$). **Conclusion.** In patients with BA who have recovered from COVID-19-associated pneumonia, functional and morphological changes of the respiratory system were identified, the severity of which increases in cases of moderate disease course and is accompanied by worsening lung function and alterations in the bronchial tree. Comprehensive functional and radiological monitoring of this patient category is necessary for timely detection and correction of post-pneumonic disorders.

Key words: bronchial asthma, pneumonia, COVID-19, multispiral computed tomography, densitovolumetry, bronchial morphometry, pulmonary function test.

Бронхиальная астма (БА) характеризуется персистирующим воспалительным процессом различной тяжести и структурными изменениями в дыхательных путях [1]. К наиболее выраженным отклонениям относятся десквамация эпителия, метаплазия бокаловидных клеток, утолщение субэпителиального слоя, гипертрофия гладких мышц дыхательных путей, увеличение объема бронхиальных желез, ангиогенез, а также изменения в компонентах внеклеточного матрикса, затрагивающие как крупные, так и мелкие бронхиальные структуры. SARS-CoV-2, возбудитель COVID-19, специфически инфицирует эпителиальные клетки верхних и нижних дыхательных путей, что может привести к обострению симптомов астмы [2, 3].

Существует ряд исследований, которые указывают на более тяжелое течение COVID-19 у пациентов с БА по сравнению с общей популяцией [4, 5]. Однако данные о том, как именно COVID-19 влияет на структурные и функциональные изменения в дыхательных путях при БА, остаются ограниченными. В настоящее время четко не установлены возможности высокоразрешающей компьютерной томографии (КТ) грудной клетки в контексте исследования функционального состояния дыхательных путей у пациентов с БА, переболевших COVID-19-ассоциированной пневмонией.

Цель настоящего исследования – на основании данных, полученных с помощью КТ легких в инспираторную и экспираторную фазы дыхания, оценить денситометрические показатели легочной ткани и изменения, происходящие в бронхах, у пациентов с БА легкой и средней степени тяжести, перенесших COVID-19-ассоциированную пневмонию.

Материалы и методы исследования

В одноцентровое наблюдательное клиническое исследование были включены 126 пациентов (57 мужчин

и 69 женщин) с диагнозом БА, спустя 6–12 месяцев после перенесенной пневмонии в период с 2020 по 2023 гг. включительно.

Исследование одобрено локальным комитетом по биомедицинской этике ДНЦ ФПД (протокол №152-ПТ от 09.09.2025) и проведено с соблюдением требований Хельсинкской декларации (Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта). Функциональные исследования проводились в соответствии с Федеральными стандартами РФ, а также совместными рекомендациями Американского торакального и Европейского респираторного обществ (ATS/ERS) [6]. КТ органов грудной клетки проводилась в соответствии с методическими рекомендациями по выполнению протоколов исследований на компьютерном томографе [7].

Критериями включения больных в исследование были возраст 18 лет и старше; верифицированный диагноз БА по кодам МКБ10 J45.1, J45.8, J45.9, персистирующая форма легкой и средней степени тяжести; перенесенная пневмония в период с 2020 по 2023 гг. включительно; способность технически правильно выполнять предусмотренные инструментальные исследования. Критерии не включения: больные БА по коду МКБ10 J45.0; тяжелая форма БА; наличие коморбидной патологии (в том числе пневмония, перенесенная до 2020 г.) и лекарственной терапии, способной привести к искажению результатов исследования собранного материала; беременные женщины; лица с выраженным двигательным беспокойством при проведении КТ легких. Степень тяжести БА определяли согласно критериям глобальной стратегии GINA [1].

Перенесенную пациентом вирусную инфекцию COVID-19 устанавливали на основании выписки из документов, где подтверждалась верификация РНК SARS-CoV-2 в биоматериале мазков из ротоглотки

и/или носоглотки методами амплификации нуклеиновых кислот либо антигена SARS-CoV-2 при иммунохроматографическом анализе. Диагноз COVID-19 формировался в соответствии с действующей на тот момент версией временных методических рекомендаций Минздрава России «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (НКИ, COVID-19)».

Из 126 пациентов БА, переболевших пневмонией и включенных в исследование, у 80 больных в биоматериале мазков была верифицирована РНК SARS-CoV-2 на момент заболевания, у 46 больных диагноз вирусной пневмонии, ассоциированной с COVID-19, разной степени тяжести не был подтвержден методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) и опирался на результаты КТ. Клиническое состояние каждого пациента за последние 4 недели оценивали, используя вопросники АСТ (Asthma Control Test) и АСQ-5 (Asthma Control Questionnaire).

Функцию легких анализировали методом спирометрии на аппарате Easy on-PC (ndd Medizintechnik AG, Швейцария). Определяли: объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ₁), форсированную жизненную емкость легких (ФЖЕЛ), максимальную объемную скорость выдоха на уровне 50 и 75% ФЖЕЛ (МОС₅₀, МОС₇₅), среднюю объемную скорость выдоха на уровне 25-75% ФЖЕЛ (СОС₂₅₋₇₅), рассчитывали обратимость изменений проходимости дыхательных путей ($\Delta\text{ОФВ}_{16\text{л}}$, %) после аэрозольной ингаляции сальбутамола (400 мкг) [8].

При бодиплетизмографии на аппарате Power Cube BODY+ (Ganshorn, Германия) оценивали бронхиальное сопротивление при выдохе (Raw ex), остаточный объем легких (ООЛ), общую емкость легких (ОЕЛ), жизненную емкость легких (ЖЕЛ), емкость вдоха (IC), резервный объем выдоха (ERV); резервный объем вдоха (IRV), отношение времени вдоха ко времени выдоха ($t_{\text{in}}/t_{\text{ex}}$) [9].

Лабораторными методами определяли уровень основных биохимических маркеров, связанных с интенсивностью общего воспаления – С-реактивного белка (СРБ) и маркера аллергических реакций немедленного типа – иммуноглобулина (Ig) E.

С помощью пульсоксиметров определяли сатурацию артериальной крови кислородом (SaO₂).

Компьютерную томографию органов грудной клетки проводили на сканере Aquilion Lightning 160 (Canon, Япония). С целью определения поражения бронхов нами был разработан собственный алгоритм оценки КТ-параметров крупных бронхов [10]. КТ-исследование проводилось в положении пациента лежа на спине с задержкой дыхания на вдохе. Область изучения: от верхушек легких до вершин косто-диафрагмальных синусов. Последующие измерения выполнялись с использованием серии сканов с легочным фильтром. Толщина среза – 1 мм, шаг реконструкции – 1 мм. Для расширения диагностических

возможностей дополнительно проводилось КТ-сканирование при полном выдохе. Морфометрические показатели бронхов оценивали с помощью модуля Airway Inspector программного комплекса SlicerCIP1-0 (версия 5.6.2) (США) [11]. Для анализа были выбраны сегментарные бронхи V₁ и V₁₀ правого легкого, как имеющие наиболее вертикальный ход на коронарных реконструкциях и, как следствие, правильный срез на аксиальных сканах, наиболее подходящих для измерения. Вычисляли следующие показатели: толщину стенки бронха V₁ правого легкого на вдохе и на выдохе (ТСБ₁, ТСБ_{1В}, мм), толщину стенки бронха V₁₀ правого легкого на вдохе и на выдохе (ТСБ₁₀, ТСБ_{10В}, мм), внутренний диаметр бронха V₁ правого легкого на вдохе и на выдохе (ВДБ₁, ВДБ_{1В}, мм), внутренний диаметр бронха V₁₀ правого легкого на вдохе и на выдохе (ВДБ₁₀, ВДБ_{10В}, мм), плотность стенки бронха V₁ правого легкого на вдохе и на выдохе (ПСБ₁, ПСБ_{1В}, HU), плотность стенки бронха V₁₀ правого легкого на вдохе и на выдохе (ПСБ₁₀, ПСБ_{10В}, HU).

Анализ денситометрических показателей легочной ткани проводился с помощью программного комплекса Lung Density автоматизированной рабочей станции Vitrea (США) с выделением диапазонов измерения [12]: верхний диапазон плотности (воздухонаполненность) от -850 HU и ниже, соответствующий воздуху, главным образом отображает состояние мелких дыхательных путей; средний диапазон плотности от -650 HU до -850 HU, соответствующий плотности неизменной легочной паренхимы; нижний диапазон плотности от -650 до 0 HU, соответствующий плотности измененной, слабоаэрируемой легочной ткани. Оценивали основные параметры: инспираторную (ИБ2) и экспираторную (ЭВ2) воздухонаполненность обоих легких; показатель объема обоих легких в среднем диапазоне плотности в инспираторную фазу дыхания (ИС2); показатель объема обоих легких в нижнем диапазоне плотности в инспираторную фазу (ИН2).

Статистический анализ полученного материала проводили в программном пакете Statistica 10.0 (StatSoft, Inc., 2011) и с использованием оригинальной программы «Автоматизированная система диспансеризации» [13] на основе стандартных методов вариационной статистики. Оценку соответствия признака закону нормального распределения проводили при помощи критериев Колмогорова-Смирнова, Пирсона-Мизеса. При нормальном типе распределения использовали непарный и парный критерий t (Стьюдента), при распределении данных, отличном от нормального, для независимых выборок использовался U критерий Манна-Уитни, Колмогорова-Смирнова, при сравнении двух зависимых выборок использовали парный критерий Вилкоксона. Анализ распространенности признака в сравниваемых группах (частота альтернативного распределения) проводили по критерию χ^2 (К. Пирсона) для четырехпольной таблицы. Описательная статистика количественных признаков пред-

ставлена с помощью среднего арифметического, стандартной ошибки среднего арифметического ($M \pm m$), а также медианы и квартилей (Me ($Q1$; $Q3$)). С целью определения степени связи между двумя случайными величинами проводили корреляционный анализ, рассчитывали коэффициент корреляции по Пирсону (r), непараметрический R_s критерий Спирмена. Для всех величин принимались во внимание уровни значимости (p) менее 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе больные были разделены на две группы по степени тяжести БА: в 1 группу ($n = 68$) включены лица с легким персистирующим течением болезни, во 2 группу ($n = 58$) вошли пациенты со средней степенью тяжести. Больные 1 и 2 групп имели различия по возрасту, но существенно не отличались по полу, основным физиологическим параметрам и факту табакокурения (табл. 1). Доля больных, вакцинированных от вируса SARS-CoV-2, была существенно ниже среди пациентов со среднетяжелым персистирующим течением болезни. Клинические симптомы болезни присутствовали у всех пациентов с большим количеством респираторных жалоб у больных 2 группы, что подтверждали данные проведенного тестирования по вопросам ACQ-5 и АСТ. Спустя несколько месяцев после перенесенной пневмонии, пациенты 2 группы имели более высокие значения СРБ и IgE (табл. 1).

Данные спирометрического и бодиплетизмографического исследований свидетельствовали о генерализованной форме обструкции дыхательных путей у больных 2 группы по отношению к пациентам 1 группы: $ОФВ_1$ $72,4 \pm 2,0$ и $90,7 \pm 1,5\%$, ($p = 0,0001$); $СОС_{25-75}$ $40,3 \pm 1,8$ и $65,3 \pm 2,6\%$ ($p = 0,0001$); $ОФВ_1/ЖЕЛ$ $65,9 \pm 1,0$ и $75,6 \pm 0,9\%$ ($p = 0,0001$); Raw ex $138(86;236)$ и $70(52;113)\%$ ($p = 0,0001$), соответственно. Отмечался более существенный прирост $ОФВ_1$ после ингаляции салбутамола у пациентов 2 группы ($\Delta ОФВ_{1\text{бн}}$ $12(6;21)\%$) по сравнению с 1 группой ($7(3;12)\%$, $p = 0,0001$). Обращает на себя внимание более значимое снижение таких параметров, как ОЕЛ и ЖЕЛ у лиц со среднетяжелым течением БА (рис. 1) по сравнению с первой группой. Кроме этого, в данной группе были ниже показатели ERV ($0,85 \pm 0,05$ и $1,08 \pm 0,06$ л, $p = 0,005$), IRV ($1,57 \pm 0,08$ и $2,0 \pm 0,08$ л, $p = 0,0003$), IC ($2,15(1,81;2,62)$ и $2,56(2,19;2,91)$ л, $p = 0,004$). Также определялось снижение отношения времени вдоха ко времени выдоха (t_{in}/t_{ex}) $83,9 \pm 2,2$ и $97,4 \pm 2,8\%$, соответственно ($p = 0,003$). В соответствии с полученными данными предполагаем, что объем поражения легочной ткани во время пневмонии COVID-19 у больных 2 группы был намного выше, затрагивая большее число легочных сегментов, о чем также свидетельствовали результаты КТ-исследований, регистрировавших постпневмонические изменения обоих легких.

Таблица 1

Основные клинические параметры больных бронхиальной астмой

Параметр	Группа 1 ($n = 68$)	Группа 2 ($n = 58$)	Значимость (p)
Возраст, годы	$43,1 \pm 1,5$	$56,4 \pm 1,5$	$p = 0,0001$
ИМТ, кг/м ²	$27,7 \pm 0,6$	$28,5 \pm 0,6$	$p = 0,35$
Пол (муж/жен), %	38/62	45/55	$\chi^2 = 0,32$; $p > 0,05$
Доля курящих пациентов, %	22	40	$\chi^2 = 2,20$; $p > 0,05$
ACQ-5, баллы	0,4 (0,01; 1,0)	2,1 (1,2; 2,8)	$p = 0,018$
АСТ, баллы	20 (16; 22)	14 (12; 21)	$p = 0,007$
SaO ₂ , %	97 (97; 98)	96 (94; 98)	$p = 0,0002$
СРБ, мг/л	3,0 (0,3; 6,2)	6,8(5,2; 9,2)	$p = 0,014$
общий IgE, МЕ/мл	68,4 (24,4; 128,2)	105,4 (39,2; 349,5)	$p = 0,005$
Доля больных, вакцинированных от вируса SARS-CoV-2, %	47	19	$\chi^2 = 10,296$; $p < 0,01$

Примечание: ИМТ – индекс массы тела; пол, доля курящих пациентов, доля больных, вакцинированных от вируса SARS-CoV-2) представлены в % от общего числа больных в группе.

По результатам постпроцессинга данных КТ было выявлено более значимое увеличение экспираторной воздухонаполненности легких (ЭВ2) в группе со среднетяжелым течением БА (табл. 2), относительно пациентов с легкой степенью БА. Проведенный корреляционный анализ в 1 и 2 группах больных показал обратную тесную связь ЭВ2 с $ОФВ_1/ЖЕЛ$ ($r = -$

$0,41$; $p = 0,006$ и $r = -0,38$; $p = 0,023$), а также прямую – с возрастом пациентов ($r = 0,46$; $p = 0,002$ и $r = 0,39$; $p = 0,018$, соответственно). Не было выявлено связи ЭВ2 с легочными объемами, измеренными при бодиплетизмографии. В тоже время мы обратили внимание на тесную связь между индикатором воспаления в крови (СРБ) и ИВ2 ($R_s = -0,68$; $p = 0,006$) у больных 2 группы.

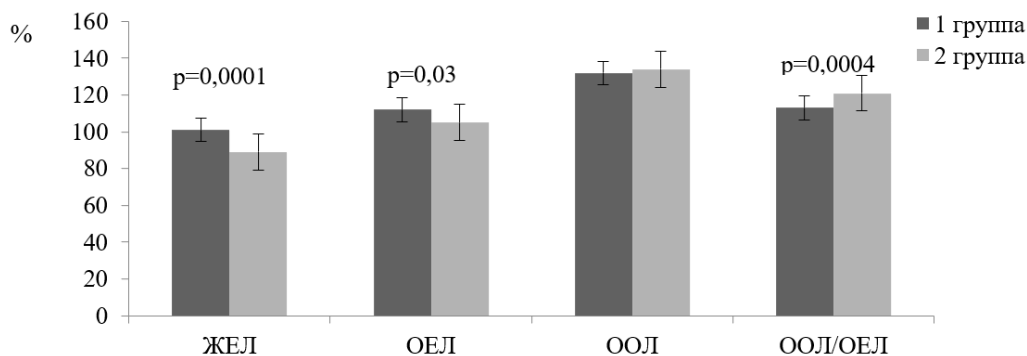


Рис. 1. Основные легочные объемы и емкости, измеренные при бодиплетизмографии у больных бронхиальной астмой. ЖЕЛ – жизненная емкость легких, ОЕЛ – общая емкость легких, ООЛ – остаточный объем легких, ООЛ/ОЕЛ – их отношение. В группе со среднетяжелым течением отмечалось более значимое снижение ОЕЛ и ЖЕЛ, чем у пациентов с легкой персистирующей формой заболевания.

При оценке внутреннего диаметра сегментарных бронхов на вдохе и выдохе обращает на себя внимание более существенное коллабирование бронха V_1 по сравнению с V_{10} у больных 2 группы (порядка 29% против 17%, соответственно) в противоположность больным 1 группы, у которых спадение бронхов во время выдоха составляло для V_1 – 18%, а для V_{10} – 29%. Внутренний диаметр бронха V_1 при выдохе напрямую коррелировал с $R_{aw\ ex}$ ($R_s = 0,53$; $p = 0,005$) у больных со среднетяжелой БА. Мы не нашли в этой группе связи между бронхиальным сопротивлением и $ВДБ_{10B}$, но по отношению к 1 группе были получены меньшие средние значения внутреннего диаметра V_{10} , кроме того, регистрировалось увеличение параметра $ПСБ_{10}$ (табл. 2).

Ранее было показано, что у больных, перенесших COVID-19, в патологический процесс могут быть вовлечены мелкие дыхательные пути [14]. Морфологические исследования умерших от данной патологии демонстрировали различные фазы диффузного альвеолярного повреждения: наблюдался внутриальвеолярный отек, а также выявлялись гиалиновые мембраны, выстилающие контуры респираторных бронхиол; десквамация бронхиального и бронхиолярного эпителия; внутрибронхиолярное скопление эритроцитов; скопления лимфоцитов, плазматических клеток, макрофагов, единичные нейтрофилы с различной выраженностью клеточной реакции в просветах альвеол [15].

Значения ИС2 в обеих группах превышали верхнюю границу нормы, не имея значимых межгрупповых различий. Эти данные подтверждали наличие невыраженного постпневмонического увеличения плотности легочной паренхимы у пациентов обеих групп (табл. 2).

Следует указать, что у 31% больных с легким и 43% со среднетяжелым течением БА, переболевших пневмонией, вирус SARS-CoV-2 на момент заболевания не был верифицирован в биоматериале мазков из носа и ротоглотки ($\chi^2 = 1,52$; $p > 0,05$). С целью выявления возможных различий пациенты каждой из групп были разделены на подгруппы: в подгруппу 1а ($n = 47$) включались лица с легким течением БА, переболевшие COVID-19-ассоциированной пневмонией, подтвер-

жденной КТ-исследованием с верифицированной РНК SARS-CoV-2 в биоматериале мазков; в подгруппу 1б ($n = 21$) – пациенты с легким течением БА, переболевшие пневмонией, подтвержденной только данными КТ; в подгруппу 2а ($n = 33$) – со среднетяжелым течением БА, переболевшие COVID-19-ассоциированной пневмонией, подтвержденной КТ-исследованием и методом ПЦР, в подгруппу 2б ($n = 25$) – со среднетяжелым течением БА, переболевшие пневмонией, подтвержденной только данными КТ. Клиническая характеристика подгрупп представлена в таблице 3.

Пациенты подгрупп 2а и 2б были старше по возрасту ($p < 0,001$), но не имели различий по остальным физиологическим параметрам, числу курящих лиц и индексу курильщика в сравнении с подгруппами 1а и 1б. Обращает на себя внимание, что больные подгруппы 2а имели более низкие значения SpO_2 , а также существенно более высокие, чем в подгруппе 2б, баллы ACQ5 (2,2(1,4;2,8) и 1,3(0,9;1,9) баллов, соответственно, $p = 0,049$), что свидетельствовало о низком контроле над БА.

При анализе функции внешнего дыхания у пациентов 2а подгруппы установлены более низкие значения объемных и временных параметров, таких как t_{in}/t_{ex} , ЖЕЛ, ERV, ОЕЛ (табл. 4, рис. 2). При этом они имели более высокие медианные значения бронхиального сопротивления и в большей степени реагировали на ингаляцию бронхолитика, чем все остальные. В то же время, при КТ-денситоволюметрии (табл. 5, рис. 3, 4) у пациентов 2а подгруппы были зарегистрированы значимо более высокие цифры экспираторной воздушности обеих легких (ЭВ2), значения которой не коррелировали с объемами, измеренными методом бодиплетизмографии, в отличие от ИВ2, у которого была найдена прямая связь с ЖЕЛ ($R_s = 0,41$; $p = 0,030$) и ERV ($R_s = 0,46$; $p = 0,014$). Такую же связь между ИВ2 с фактическими значениями ЖЕЛ ($R_s = 0,43$; $p = 0,0006$) и ERV ($R_s = 0,36$; $p = 0,023$) мы наблюдали и в подгруппе 1а, у этих же пациентов прослеживалась тесная корреляция ИС2 с ИВ2 ($R_s = -0,56$; $p = 0,001$) и ЭВ2 ($R_s = -0,61$; $p = 0,002$).

Таблица 2

Параметры КТ-денситоволюметрии и морфометрии бронхов

Параметр	Группа 1 (n = 68)	Группа 2 (n = 58)	Значимость (p)
ИВ ₂ , мл	3914 (3055; 4758)	3852 (3288; 4917)	0,26
ЭВ ₂ , мл	69 (25; 381)	637 (219; 1157)	<0,001
ИС ₂ , мл	965 (798; 1223)	1053 (875; 1203)	0,33
ИН ₂ , мл	273 (246; 324)	300 (254; 353)	0,16
ВДБ ₁ , мм	1,52 (1,30; 2,00)	1,90 (1,32; 2,23)	0,012
ВДБ _{1В} , мм	1,25 (1,05; 1,60)**	1,35 (1,17; 1,52)***	0,35
Разность ВДБ ₁ -ВДБ _{1В} , мм	0,31 ± 0,08	0,56 ± 0,09	0,043
ВДБ ₁₀ , мм	2,30 (2,00; 2,90)	1,70 (1,50; 2,18)	<0,0001
ВДБ _{10В} , мм	1,64 (1,30; 2,80)***	1,41 (1,22; 1,60)**	0,016
Разность ВДБ ₁₀ -ВДБ _{10В} , мм	0,87 ± 0,11	0,37 ± 0,08	0,001
ТСБ ₁ , мм	1,91 (1,70; 2,02)	2,09 (1,90; 2,35)	0,004
ТСБ _{1В} , мм	2,01 (1,84; 2,20)*	2,17 (1,85; 2,55)	0,06
Разность ТСБ ₁ -ТСБ _{1В} , мм	0,13 ± 0,05	0,04 ± 0,07	>0,05
ТСБ ₁₀ , мм	2,00 (1,83; 2,02); p ₁ = 0,07	1,95 (1,82; 2,09); p ₁ = 0,002	0,59
ТСБ _{10В} , мм	2,19(2,05; 2,33)***; p ₁ = 0,063	2,16 (1,96; 2,34)***; p ₁ = 0,84	0,25
Разность ТСБ ₁₀ -ТСБ _{10В} , мм	0,27 ± 0,05	0,22 ± 0,04	>0,05
ПСБ ₁ , HU	-463 (-544; -333)	-355 (-452; -217)	0,005
ПСБ _{1В} , HU	-324 (-421; -217)**	-247 (-342; -166)**	0,22
ПСБ ₁₀ , HU	-381 (-440; -257); p ₁ = 0,004	-417 (-509; -229); p ₁ = 0,31	0,034
ПСБ _{10В} , HU	-199(-272; -118)***; p ₁ = 0,003	-175 (-277; -107)***; p ₁ = 0,008	0,62

Примечание к таблицам 2 и 5: статистическая значимость различий между показателями на вдохе и выдохе: * – p < 0,05; ** – p < 0,01; *** – p < 0,001; p₁ – значимость различий показателей между В₁ и В₁₀ на вдохе и выдохе (парный метод).

Таблица 3

Сравнительная клиническая характеристика подгрупп пациентов, согласно тяжести течения БА и результатам ПЦР

Параметр	Подгруппа 1а	Подгруппа 1б	Подгруппа 2а	Подгруппа 2б
ИМТ, кг/м ²	27,4 ± 0,8	27,9 ± 1,4	28,8 ± 0,8	28,3 ± 1,1
Пол (м/ж), %	43/57	48/52	48/52	43/57
Доля курящих пациентов, %	16	40	43	35
ИК, пачка/лет	13,1 ± 6,42	15,6 ± 3,96	19,4 ± 4,9	23,8 ± 4,4
SaO ₂ , %	97(96; 98)	97(97; 98)	96(94; 97) p _{1а} = 0,004; p _{1б} = 0,020	96(95; 98)
Доля вакцинированных от вируса SARS-CoV-2, %	47	48	18 χ ² = 5,78 p _{1а} < 0,05	24

Примечание: p_{1а} – значимость различий в сравнении с подгруппой 1а; p_{1б} – значимость различий в сравнении с подгруппой 1б.

Таблица 4

Сравнительная характеристика функции внешнего дыхания подгрупп пациентов с различной тяжестью течения БА и результатами ПЦР

Параметр	Подгруппа 1а	Подгруппа 1б	Подгруппа 2а	Подгруппа 2б
ОФВ ₁ , % долж.	92,4 ± 1,6	88,6 ± 3,6	71,2 ± 4,1 $p_{1a-2a} < 0,001$	73,0 ± 3,8 $p_{1b-2b} = 0,005$
СОС ₂₅₋₇₅ , % долж.	65,9 ± 2,8	63,5 ± 6,2	40,7 ± 2,4 $p_{1a-2a} < 0,001$	39,4 ± 2,7 $p_{1b-2b} = 0,006$
ΔОФВ _{16л} , %	7,0 (3,0; 11,0)	7,0 (3,5; 12,5)	12,0 (6,0; 21,0) $p_{1a-2a} = 0,034$	12,0 (8,0; 16,5)
ΔМОС _{50бл} , %	19,5 (6,0; 33,0)	25,0 (7,5; 34,0)	25,0 (2,0; 40,0)	15,0 (-3,0; 31,0)
t_{in}/t_{ex} , %	92 (83; 105)	91,5 (83,5; 102)	84,5 (66; 98) $p_{1a-2a} = 0,002$	87 (76; 98)
Raw ex, % долж.	72 (53; 127)	67 (51; 102)	146 (88; 238) $p_{1a-2a} = 0,0002$	102 (85; 205) $p_{1b-2b} = 0,004$
ОЕЛ, % долж.	113 (100; 128)	112 (99; 115)	101 (89; 117) $p_{1a-2a} = 0,047$	106 (102; 119)
ООЛ, % долж.	132 (109; 160)	130 (104; 146)	129 (110; 172)	144 (120; 172)
ООЛ/ОЕЛ, % долж.	114 (102; 135)	110 (101; 124)	120 (110; 140)	121 (111; 138)

Примечание к таблицам 4 и 5: p_{1a-2a} – значимость различий между подгруппами 1а и 2а; p_{1b-2b} – значимость различий между подгруппами 1б и 2б.

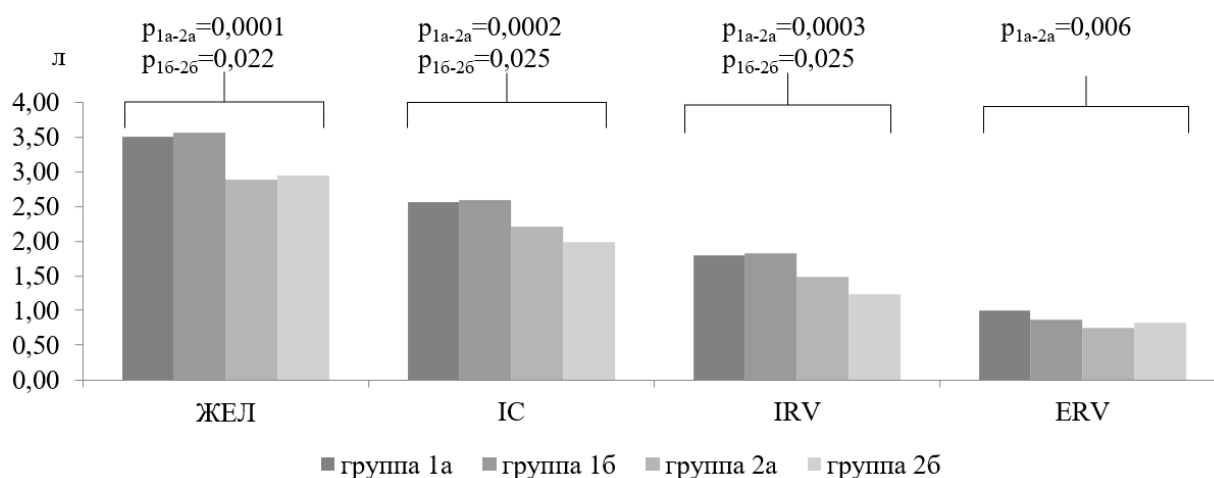


Рис. 2. Сравнительный анализ некоторых емкостных и объемных параметров легких, регистрируемых при бодиплетизмографии, в подгруппах, согласно тяжести течения бронхиальной астмы и результатам ПЦР. ЖЕЛ – жизненная емкость легких, IC – емкость вдоха, IRV – резервный объем вдоха, ERV – резервный объем выдоха. При анализе функции внешнего дыхания у пациентов со среднетяжелым течением бронхиальной астмы, переболевшие COVID-19-ассоциированной пневмонией, подтвержденной КТ-исследованием и методом ПЦР установлены более низкие значения объемных параметров, таких как ЖЕЛ, ERV.

Оценивая показатели морфометрии бронхов (табл. 5, рис. 5, 6), мы зарегистрировали у больных 2а подгруппы более выраженное коллабирование бронха V_1 относительно V_{10} во время выдоха (27 и 16%, соответственно) в противоположность подгруппе 1а, где спа-

дение V_1 при выдохе составляло 17%, а V_{10} – 30%. Данные изменения были связаны с толщиной бронхов в процессе выдоха, которая у лиц 2а и 2б подгрупп была больше на уровне сегментарного бронха V_1 .

Таблица 5

Сравнительный анализ параметров КТ-денситоволюметрии, морфометрии бронхов в подгруппах пациентов с различной тяжестью течения БА и результатами ПЦР

Параметр	Группа 1а	Группа 1б	Группа 2а	Группа 2б
ИВ2, мл	3864 (3055; 4820)	3926 (2997; 4685)	4151 (3288; 4884)	3852 (3413; 5504)
ЭВ2, мл	82 (19; 444)	42 (30; 130)	610 (227; 1157) $p_{1a-2a} = 0,0006$	663 (50; 795)
ИС2, мл	965 (798; 1328)	1005 (803; 1193)	1031(875; 1181)	1080 (996; 1203)
ИН2, мл	275 (250; 325)	267 (241; 308)	306(254; 342)	261 (254; 353)
ВДБ ₁ , мм	1,50 (1,23; 2,00)	1,57 (1,43; 2,12)	1,84(1,30; 2,07)	1,93 (1,70; 2,47)
ВДБ _{1В} , мм	1,25 (1,05; 1,60)*	1,25 (1,13; 1,50)*	1,35(1,17; 1,53)***	1,44 (1,17; 1,56)**
ВДБ ₁₀ , мм	2,34 (2,07; 2,88)	2,30 (2,00; 3,00)	1,69(1,41; 2,07) $p_{1a-2a} = 0,000$	1,75 (1,64; 2,22) $p_{1b-2b} = 0,028$
ВДБ _{10В} , мм	1,62 (1,33; 2,20)***	1,66 (1,30; 2,21)**	1,41(1,23; 1,61)**	1,40 (1,21; 1,43)*
ТСБ ₁ , мм	1,91 (1,70; 2,01)	1,98 (1,74; 2,02)	2,03(1,90; 2,34) $p_{1a-2a} = 0,0002$	2,15 (1,93; 2,39) $p_{1b-2b} = 0,008$
ТСБ _{1В} , мм	2,01 (1,84; 2,20)*	2,01 (1,86; 2,20)	2,14 (1,84; 2,51)	2,20 (1,89; 2,59)
ТСБ ₁₀ , мм	2,00 (1,83; 2,03)	1,90 (1,83; 2,00)	1,95 (1,82; 2,09)	1,95 (1,84; 2,09)
ТСБ _{10В} , мм	2,07 (2,01; 2,30)**	2,30 (2,12; 2,38)***	2,17 (1,99; 2,32)***	2,01 (1,89; 2,39)*
ПСБ ₁ , НУ	-451,5 ± 32,7	-437,0 ± 43,8	-458,4 ± 22,7	-279,6 ± 44,4 $p_{2a-2b} = 0,045$
ПСБ _{1В} , НУ	-297 ± 42,7**	-300,2 ± 53,2	-302,5 ± 30,3**	-244,5 ± 36,6
ПСБ ₁₀ , НУ	-346,8 ± 29,7; $p_1 = 0,007$	-380 ± 36,0	-411,1 ± 31,6	-357,7 ± 40,4
ПСБ _{10В} , НУ	-227,3 ± 31,4*** $p_1 = 0,020$	-196,0 ± 31,2** $p_1 = 0,005$	-194,4 ± 23,1*** $p_1 = 0,008$	-207,3 ± 38,7*

Примечание к таблице 5 дополнительно: p_{2a-2b} – значимость различий между подгруппами 2а и 2б.

При сравнении толщины бронха между вдохом и полным выдохом у одних и тех же пациентов (парным методом) нами не найдено различий по сегментарному бронху V_1 во всех исследуемых подгруппах, тогда как $ТСБ_{10В}$ существенно прирастал относительно $ТСБ_{10}$, разность между вдохом и выдохом в среднем по подгруппам составляла $0,23 \pm 0,06$; $0,37 \pm 0,06$; $0,24 \pm 0,6$; $0,18 \pm 0,08$ мм, соответственно. Обращает на себя внимание, что пациенты группы 2б отличались более плотной структурой стенки бронхов, которая существенно не менялась между вдохом и выдохом, в отличие от

остальных. В то же время, у больных подгруппы 2а, в сравнении с другими пациентами во время вдоха нами были получены более высокие средние значения $ПСБ_1$ и $ПСБ_{10}$, что возможно было связано с активностью и характером воспалительных процессов в дыхательных путях, протекающих на фоне постпневмонических нарушений (табл. 5), о чем свидетельствовали данные АСQ5-тестирования, а также обнаруженные корреляции между $ПСБ_{10}$ и $СОС_{25-75}$ ($r = -0,44$; $p = 0,0003$), $ПСБ_{10}$ и ΔOFV_{10a} ($R_s = 0,43$; $p = 0,002$) у больных со среднетяжелым течением БА.

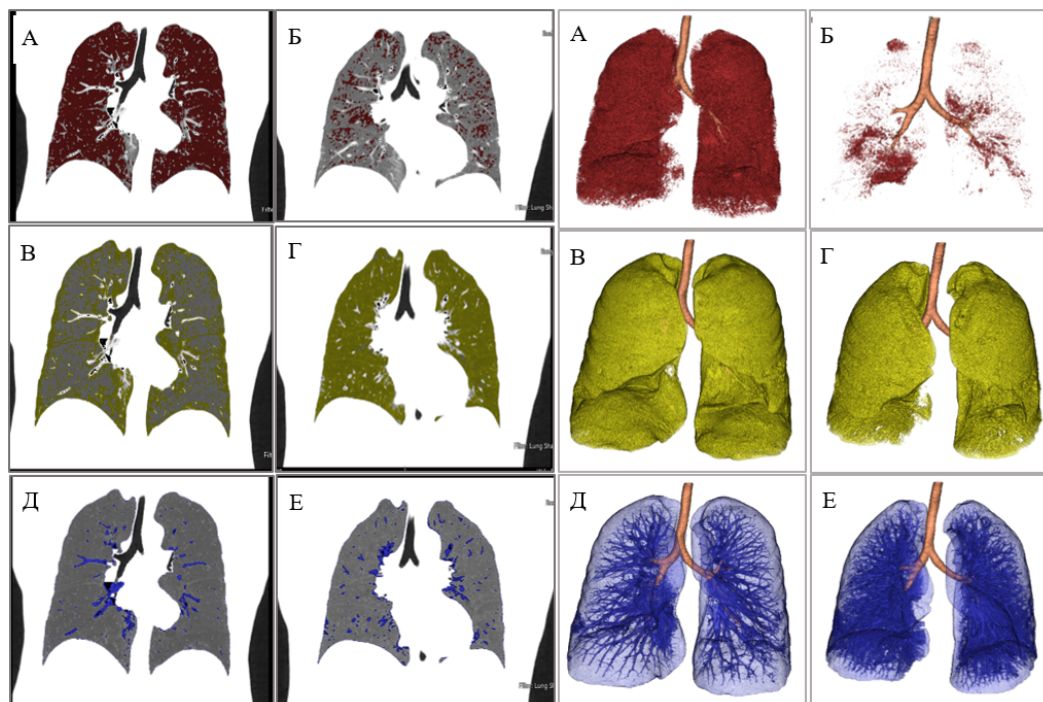


Рис. 3. Срединные коронарные и трехмерные реконструкции легких пациента с бронхиальной астмой легкой степени тяжести на вдохе (А, В, Д) и выдохе (Б, Г, Е) в различных диапазонах плотности: от -850 HU и ниже – воздухонаполненность (А, Б), от -850 до -650 HU – средний диапазон плотности (В, Г), от -650 до 0 HU – нижний диапазон плотности (Д, Е). Здесь и на рисунке 4 окрашенные участки легких соответствуют плотности выбранного диапазона. Для визуального анализа объем в верхнем диапазоне плотности выделяется красным цветом (количественно соответствует показателю ИВ2 на вдохе и ЭВ2 на выдохе), в среднем – желтым (количественно соответствует показателю ИС2), в нижнем – синим (количественно соответствует показателю ИН2).

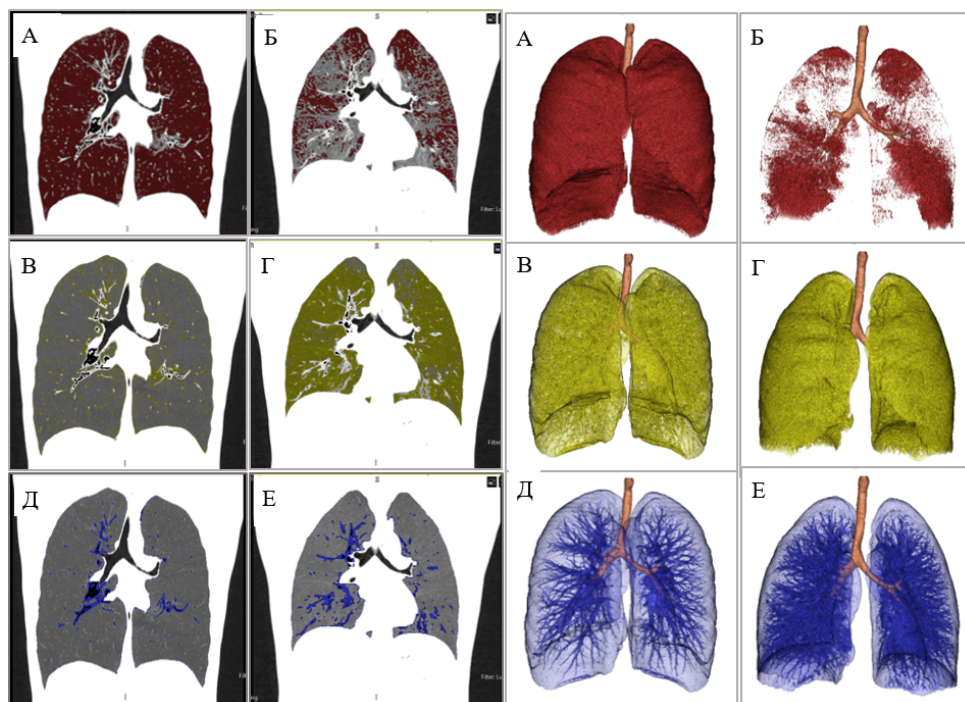


Рис. 4. Срединные коронарные и трехмерные реконструкции легких пациента БА средней степени тяжести на вдохе (А, В, Д) и выдохе (Б, Г, Е), в различных диапазонах плотности: от -850 HU и ниже – воздухонаполненность (А, Б), от -850 до -650 HU – средний диапазон плотности (В, Г), от -650 до 0 HU – нижний диапазон плотности (Д, Е). Визуально можно отметить большой объем остаточного воздуха в легких на выдохе (Б).

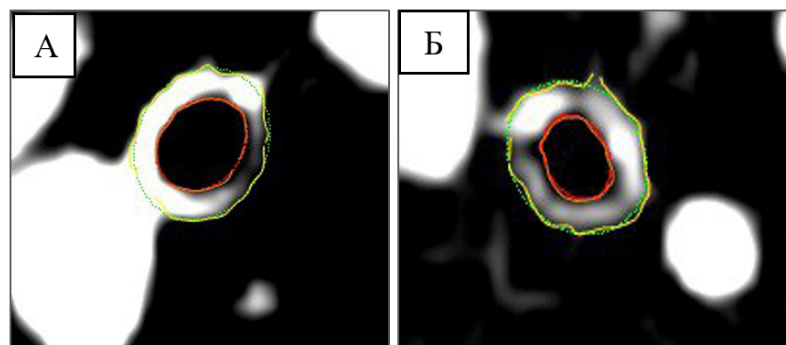


Рис. 5. Оценка морфометрических показателей V_{10} правого легкого у пациента с легким течением бронхиальной астмы. А – на вдохе, Б – на выдохе. Здесь и на рисунке 6 красным, желтым и зеленым цветом обозначены автоматические инструменты Airway Inspector программного комплекса SlicerCIP1-0 (версия 5.6.2), измеряющие морфометрические показатели бронха: внутренний диаметр, толщину и плотность стенки.

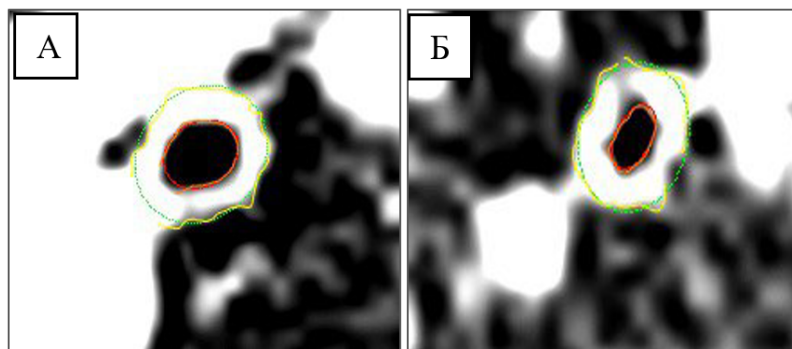


Рис. 6. Оценка морфометрических показателей V_{10} правого легкого у пациента со среднетяжелым течением бронхиальной астмы. А – на вдохе, Б – на выдохе.

Заключение

Таким образом, у пациентов с БА, перенесших пневмонию, ассоциированную с SARS-CoV-2, выраженность функциональных и морфологических изменений дыхательной системы определялась тяжестью основного заболевания, что сопровождалось увеличением экспираторной воздухонаполненности легких с формированием структурных изменений бронхиального дерева, затрагивающих сегментарные бронхи с большей выраженностью в нижних отделах легких, неравномерностью их коллабироваия. Прослеживалась тесная связь между морфометрическими показателями бронхов, параметрами вентиляционной функции легких, сохраняющимся воспалением в крови и клинической картиной заболевания с потерей контроля. Перенесенная COVID-19-пневмония способствовала вовлечению мелких дыхательных путей в патологический процесс и ассоциировалась с сохранением постпневмонических изменений легочной ткани,

независимо от степени тяжести БА.

Практическая значимость работы заключается в обосновании необходимости дифференцированного подхода к ведению пациентов с БА после перенесённой COVID-19-пневмонии с учетом степени тяжести заболевания и выявленных структурно-функциональных нарушений, что позволит повысить эффективность мониторинга и терапии данной категории больных.

Конфликт интересов

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

Источники финансирования

Исследование проводилось без участия спонсоров

Funding Sources

This study was not sponsored

ЛИТЕРАТУРА

1. Global Initiative for Asthma (GINA). Global strategy for asthma management and prevention (Update 2025). URL: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2025/11/GINA-2025-Update-25_11_08-WMS.pdf](https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2025/11/GINA-2025-Update-25_11_08-WMS.pdf)
2. Ono Y., Obayashi S., Horio Y., Niimi K., Hayama N., Ito Y., Oguma T., Asano K. Asthma exacerbation associated with COVID-19 pneumonia // *Allergol. Int.* 2021. Vol.70, №1. P.129–130. <https://doi.org/10.1016/j.alit.2020.07.002>
3. Zhang M., Zhao L., Zeng P., Mu X., Zhao J. Inflammatory and pulmonary function characteristics of bronchial asthma induced by COVID 19 infection // *Biomed. Rep.* 2025. Vol.22, №6. Article number:101. <https://doi.org/10.3892/br.2025.1979>
4. Cortés-Telles A., López-Romero S., Figueroa-Hurtado E., Pou-Aguilar Y.N., Wong A.W., Milne K.M., Ryerson C.J., Guenette J.A. Pulmonary function and functional capacity in COVID-19 survivors with persistent dyspnea // *Respir. Physiol. Neurobiol.* 2021. Vol.288. Article number:103644. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2021.103644>
5. Dupont A., Couffignal C., Arias C., Salah K., Phillips-Houlbraq M., Le Brun M., Taillé C. Outcomes and risk factors with COVID-19 or influenza in hospitalized asthma patients // *Respir. Res.* 2022. Vol.23, №1. Article number: 342. <https://doi.org/10.1186/s12931-022-02265-6>

6. Miller M.R., Hankinson J., Brusasco V., Burgos F., Casaburi R., Coates A., Crapo R., Enright P., van der Grinten C.P.M., Gustafsson P., Jensen R., Johnson D.C., MacIntyre N., McKay R., Navajas D., Pedersen O.F., Pellegrino R., Viegi G., Wanger J. Standardisation of spirometry // *Eur. Respir. J.* 2005. Vol.26, Iss.2. P.319–338. <https://doi.org/10.1183/09031936.05.00034805>
7. Гомболевский В.А., Масри А.Г., Ким С.П., Морозов Р.В. Руководство для лаборантов по выполнению протоколов исследований на компьютерном томографе: Методические рекомендации №12. Москва: Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы "Научно-практический центр медицинской радиологии Департамента здравоохранения города Москвы". 2017. 56 с. EDN ZMCZIH.
8. Каменева М.Ю., Черняк А.В., Айсанов З.Р., Авдеев С.Н., Бабак С.Л., Белевский А.С., Берестень Н.Ф., Калманова Е.Н., Кравченко Н.Ю., Малявин А.Г., Перельман Ю.М., Приходько А.Г., Стручков П.В., Чикина С.Ю., Чушкин М.И. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов // *Пульмонология*. 2023. Т.33, №3. С.307–340. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2023-33-3-307-340>
9. Черняк А.В., Чушкин М.И., Айсанов З.Р., Авдеев С.Н., Берестень Н.Ф., Воробьев А.В., Дубаков А.В., Калманова Е.Н., Каменева М.Ю., Кирюхина Л.Д., Мустафина М.Х., Перельман Ю.М., Приходько А.Г., Стручков П.В., Фурман Е.Г., Хохлов В.П. Российское респираторное общество. Российская ассоциация специалистов функциональной диагностики. Бодиплетизмография: методическое руководство // *Пульмонология*. 2025. Т.35, №3. С.299–330. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2025-35-3-299-330>
10. Ильин А.В., Игнатиева Е.А., Безруков Н.С., Перельман Ю.М. Алгоритм оценки морфометрических параметров крупных бронхов у больных внебольничной пневмонией с применением постпроцессинговой обработки данных компьютерной томографии // *Материалы XI Съезда врачей-пульмонологов Сибири и Дальнего Востока / под общ. ред. академика РАН В.П. Колодова*. Благовещенск: ДНЦ ФПД, 2025. С.101–104. <https://doi.org/10.36604/Congress-Pulmo-2025>
11. Chest Imaging Platform (CIP). URL: <https://chestimagingplatform.org/>
12. Ильин А.В., Леншин А.В., Одириев А.Н., Перельман Ю.М. Новый метод лучевой диагностики нарушений вентилиционной функции легких посредством мультиспиральной компьютерной томографии // *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2013. Вып. 47. С.40–47. EDN: PXYGEN.
13. Ульяновцев Н.В. Системность научных исследований в медицине. Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2014. 140 с. EDN: RWO-BUP.
14. Савушкина О.И., Малащенко М.М., Чушкин М.И., Неклюдова Г.В., Авдеев С.Н., Зайцев А.А. Функциональные показатели системы дыхания и качество жизни пациентов, перенесших COVID-19 // *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2023. Вып.90. С.8–18. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2023-90-8-1817>
15. Самсонова М.В., Михалева Л.М., Зайратьянц О.В., Варясин В.В., Быканова А.В., Мишнев О.Д., Березовский Ю.С., Тишкевич О.А., Гомзикова Е.А., Черняев А.Л., Хованская Т.Н. Патология легких при COVID-19 в Москве // *Архив патологии*. 2020. Т.82, №4. С.32–40. <https://doi.org/10.17116/patol20208204132>

REFERENCES

1. Global Initiative for Asthma (GINA). Global strategy for asthma management and prevention (Update 2025). Available at: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpgclefindmkaj/https://ginasthma.org/wp-content/uploads/2025/11/GINA-2025-Update-25_11_08-WMS.pdf
2. Ono Y., Obayashi S., Horio Y., Niimi K., Hayama N., Ito Y., Oguma T., Asano K. Asthma exacerbation associated with COVID-19 pneumonia. *Allergol. Int.* 2021; 70(1):129–130. <https://doi.org/10.1016/j.alit.2020.07.002>
3. Zhang M., Zhao L., Zeng P., Mu X., Zhao J. Inflammatory and pulmonary function characteristics of bronchial asthma induced by COVID 19 infection. *Biomed. Rep.* 2025; 22(6):101. <https://doi.org/10.3892/br.2025.1979>
4. Cortés-Telles A., López-Romero S., Figueroa-Hurtado E., Pou-Aguilar Y.N., Wong A.W., Milne K.M., Ryerson C.J., Guenette J.A. Pulmonary function and functional capacity in COVID-19 survivors with persistent dyspnea. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 2021; 288:103644. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2021.103644>
5. Dupont A., Couffignal C., Arias C., Salah K., Phillips-Houlbraq M., Le Brun M., Taillé C. Outcomes and risk factors with COVID-19 or influenza in hospitalized asthma patients. *Respir. Res.* 2022; 23(1):342. <https://doi.org/10.1186/s12931-022-02265-6>
6. Miller M.R., Hankinson J., Brusasco V., Burgos F., Casaburi R., Coates A., Crapo R., Enright P., van der Grinten C.P.M., Gustafsson P., Jensen R., Johnson D.C., MacIntyre N., McKay R., Navajas D., Pedersen O.F., Pellegrino R., Viegi G., Wanger J. Standardisation of spirometry. *Eur. Respir. J.* 2005; 26(2):319–338. <https://doi.org/10.1183/09031936.05.00034805>
7. Gombolevsky V.A., Masri A.G., Kim S.P., Morozov R.V. [A guide for laboratory technicians on performing CT scan research protocols. Methodological recommendations No. 12]. Moscow: Gosudarstvennoye byudzhethnoye uchrezhdeniye zdравookhraneniya goroda Moskvy "Nauchno-prakticheskiy tsentr meditsinskoy radiologii Departamenta zdравookhraneniya goroda Moskvy"; 2017 (in Russian).
8. Kameneva M.Yu., Cherniak A.V., Aisanov Z.R., Avdeev S.N., Babak S.L., Belevskiy A.S., Beresten N.F., Kalmanova E.N., Mal'yavin A.G., Perelman Ju.M., Prikhodko A.G., Struchkov P.V., Chikina S.Yu., Chushkin M.I. [Spirometry: national guidelines for the testing and interpretation of results]. *Pul'monologiya = Pulmonology* 2023; 33(3):307–340 (in Russian). <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2023-33-3-307-340>
9. Cherniak A.V., Chushkin M.I., Aisanov Z.R., Avdeev S.N., Beresten N.F., Vorobiev A.V., Dubakov A.V., Kalmanova E.N., Kameneva M.Yu., Kiryukhina L.D., Mustafina M.Kh., Perelman Ju.M., Prikhodko A.G., Struchkov P.V., Furman E.G., Khokhlov V.P. [Russian Respiratory Society. Russian Association of Specialists in Functional Diagnostics. Body plethysmography: national guidelines]. *Pul'monologiya = Pulmonology* 2025; 35(3):299–330 (in Russian). <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2025-35-3-299-330>
10. Ilyin A.V., Ignatieva E.A., Bezrukov N.S., Perelman J.M. [An algorithm for evaluating the morphometric parameters of large bronchi in patients with community-acquired pneumonia using postprocessing of computed tomography data. In: Proceedings of the

XI conference of pulmonologists of Siberia and Far East]. Blagoveshchensk; 2025:101–104 (in Russian). <https://doi.org/10.36604/Congress-Pulmo-2025>

11. Chest Imaging Platform (CIP). Available at: <https://chestimagingplatform.org/>

12. Ilyin A.V., Lenshin A.V., Odireev A.N., Perelman Yu.M. [New method of x-ray diagnostics of disturbances of lungs ventilation function by multidetector computed tomography]. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2013; 47:40–47 (in Russian).

13. Ulyanychev N.V. [The consistency of scientific research in medicine]. Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2014 (in Russian).

14. Savushkina O.I., Malashenko M.M., Chushkin M.I., Neklodova G.V., Avdeev S.N., Zaicev A.A. [Lung function parameters and quality of life of patients after COVID-19]. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2023; 90:8–18 (in Russian). <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2023-90-8-18>

15. Samsonova M.V., Mikhaleva L.M., Zairatyants O.V., Varyasin V.V., Bykanova A.V., Mishnev O.D., Berezovskiy Yu.S., Tishkevich O.A., Gomzikova Ye.A., Chernyayev A.L., Khovanskaya T.N. [Lung pathology of COVID-19 in Moscow]. *Arkhiv patologii = Russian Journal of Archive of Pathology* 2020; 82(4):32–40 (in Russian). <https://doi.org/10.17116/patol20208204132>

Информация об авторах:

Елена Александровна Игнатьева, канд. мед. наук, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания»; e-mail: elena_ignateva_83@list.ru

Андрей Валерьевич Ильин, канд. мед. наук, зав. отделением лучевой диагностики, врач-рентгенолог, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания»; e-mail: alero82@yandex.ru

Анна Григорьевна Приходько, д-р мед. наук, главный научный сотрудник, лаборатория функциональных методов исследования дыхательной системы, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания»; e-mail: prih-anya@ya.ru

Юлий Михайлович Перельман, член-корреспондент РАН, д-р мед. наук, профессор, зам. директора по научной работе, зав. лабораторией функциональных методов исследования дыхательной системы, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания»; e-mail: jperelman@mail.ru

Author information:

Elena A. Ignat'eva, PhD (Med.), Roentgenologist of Department of X-Ray Diagnostics, Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration; e-mail: elena_ignateva_83@list.ru

Andrey V. Ilyin, PhD (Med.), Roentgenologist, Head of Department of X-Ray Diagnostics, Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration, e-mail: alero82@yandex.ru

Anna G. Prikhodko, MD, PhD, DSc (Med.), Main Staff Scientist, Laboratory of Functional Research of Respiratory System, Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration; e-mail: prih-anya@ya.ru

Juliy M. Perelman, MD, PhD, DSc (Med.), Corresponding Member of RAS, Professor, Deputy Director on Scientific Work, Head of Laboratory of Functional Research of Respiratory System, Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration; e-mail: jperelman@mail.ru

Поступила 28.05.2026
Принята к печати 29.06.2026

Received May 28, 2026
Accepted June 29, 2026