

УДК 616.24-002.182:616-073.756.8

DOI: 10.36604/1998-5029-2022-85-65-77

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЬЮТЕРНО-ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ ДЕНСИТОВОЛУМЕТРИИ ПРИ СТРАТИФИКАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ЛЁГОЧНЫМ САРКОИДОЗОМ

Е.А.Игнатьева

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

**РЕЗЮМЕ. Цель.** Оценить диагностическую значимость показателей, полученных новым методом количественной оценки цифровых данных компьютерно-томографических (КТ) изображений органов грудной клетки (КТ-денситоволуметрия) в группах пациентов с диагнозом саркоидоза, стратифицированных по рентгенологическим паттернам, в сравнении с группами, сформированными по принципу классификации J.G.Scadding, а также в сравнении с функциональными лёгочными тестами. **Материалы и методы.** Обследованы здоровые лица (n=21) и больные лёгочным саркоидозом (n=101). Пациенты с саркоидозом разделены на 5 групп в соответствии с классификацией J.G.Scadding и на 5 групп, согласно комбинациям рентгенологических паттернов. Функцию внешнего дыхания оценивали по данным спирометрии форсированного выдоха, бодиплетизмографии и исследования диффузионной способности и объёмов лёгких. Всем обследованным выполнена двухэтапная КТ лёгких в инспираторную и экспираторную фазы с измерением параметров в 3 диапазонах плотности. **Результаты.** Значения полученных количественных показателей, определённые новым методом КТ-денситоволуметрии, отличались от контрольных значений у здоровых лиц как в общей группе больных саркоидозом, так и в отдельных группах по классификации J.G.Scadding и группам, разделённых по рентгенологическим паттернам. В результате определена межгрупповая статистически значимая разница показателей. Обнаружены корреляционные связи между радиометрическими измерениями и показателями функции лёгких. **Заключение.** Новый метод КТ-денситоволуметрии определил диагностическую разницу между подходами к стратификации пациентов с лёгочным саркоидозом. Полученные результаты могут быть использованы в качестве полезного инструмента для разработки единой рентгенологической классификации, основанной на качественных КТ-характеристиках патологических изменений при лёгочном саркоидозе.

**Ключевые слова:** саркоидоз, классификация, мультиспиральная компьютерная томография, радиомика, количественная оценка вентилиционной функции лёгких, денситоволуметрия, функция внешнего дыхания.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF COMPUTED TOMOGRAPHIC DENSITOVOLUMETRY DURING THE STRATIFICATION OF PATIENTS WITH PULMONARY SARCOIDOSIS

E.A.Ignat'eva

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

**SUMMARY. Aim.** To assess the diagnostic significance of the indicators obtained by the new method of quantitative evaluation of digital data of computed tomography (CT) images of the chest (CT densitovolumetry) in groups of patients with a diagnosis of sarcoidosis, stratified by radiological patterns, in comparison with groups formed according to the classification principle of J.G.Scadding, as well as in comparison with functional pulmonary tests. **Materials and**

### Контактная информация

Елена Александровна Игнатьева, аспирант, 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: ignatyeva6618@gmail.com

### Correspondence should be addressed to

Elena A. Ignat'eva, MD, Roentgenologist, Postgraduate Student, Laboratory of Functional Research of Respiratory System, Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration, 22 Kalinina Str., Blagoveshchensk, 675000, Russian Federation. E-mail: ignatyeva6618@gmail.com

### Для цитирования:

Игнатьева Е.А. Сравнительный анализ результатов компьютерно-томографической денситоволуметрии при стратификации пациентов с лёгочным саркоидозом // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2022. Вып.85. С.65–77. DOI: 10.36604/1998-5029-2022-85-65-77

### For citation:

Ignat'eva E.A. Comparative analysis of the results of computed tomographic densitovolumetry during the stratification of patients with pulmonary sarcoidosis. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniâ = Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2022; (85):65–77 (in Russian). DOI: 10.36604/1998-5029-2022-85-65-77

**methods.** Healthy individuals (n=21) and patients with pulmonary sarcoidosis (n=101) were examined. Patients with sarcoidosis were divided into 5 groups according to the J.G.Scadding classification and into 5 groups according to combinations of radiological patterns. The lung function was assessed according to the data of forced expiratory spirometry, body plethysmography, and the study of diffusion capacity and lung volumes. All examined patients underwent a two-stage CT scan of the lungs in the inspiratory and expiratory phases with the measurement of parameters in 3 density ranges. **Results.** The values of the obtained quantitative indicators, determined by the new method of CT-densitovolumetry, differed from the control values in healthy individuals both in the general group of patients with sarcoidosis, and in separate groups according to the J.G.Scadding classification and groups divided by radiological patterns. As a result, an intergroup statistically significant difference in indicators was determined. Correlations were found between radiometric measurements and lung function variables. **Conclusion.** A new method of CT-densitovolumetry has identified a diagnostic difference between approaches to stratification of patients with pulmonary sarcoidosis. The results obtained can be treated as a useful tool for the development of a unified radiological classification based on qualitative CT characteristics of pathological changes in pulmonary sarcoidosis.

*Key words: sarcoidosis, classification, multislice computed tomography, radiomics, quantitative assessment of lung function, densitovolumetry, respiratory function.*

Саркоидоз является мультисистемным гранулематозным заболеванием неизвестной этиологии с очень вариабельными клиническими проявлениями и прогнозом. Он варьируется от самокупирующегося, часто бессимптомного заболевания до тяжелого нарушения функции пораженного органа, которое может ограничивать качество жизни и даже привести к смерти [1–4]. Заболеванию подвержены мужчины и женщины в наиболее трудоспособном возрасте – от 20 до 50 лет, что определяет высокую социальную значимость саркоидоза. Результат терапии, а, следовательно, прогноз и исход болезни напрямую зависят от своевременной адекватной диагностики. В доминирующем большинстве случаев (90%) патологическим изменениям подвержены лёгкие и внутригрудные лимфатические узлы. Это определяет ведущее место в диагностике саркоидоза лучевых методов исследования. В настоящее время компьютерная томография (КТ) принята в качестве эталона визуализации для начального обследования пациентов с интерстициальными заболеваниями легких, в том числе и саркоидоза [5]. Высокая разрешающая способность и широкий спектр программного обеспечения с оптимальными параметрами позволяют осуществить постпроцессинговую обработку и анализ КТ-изображений, достоверно оценить уровень, степень и распространённость поражения анатомических структур. Проекция максимальной интенсивности улучшает обнаружение и анализ распределения микронодулярных структур. Проекция минимальной интенсивности улучшает обнаружение областей повышенной и пониженной плотности и бронхиального стеноза [6]. Количественная КТ дает возможность проанализировать всю глубину предоставляемой информации и обладает потенциальными преимуществами в объективности и способности идентифицировать признаки, не распознаваемые визуально.

В литературе подробно описаны типичные и атипичные рентгенологические находки при саркоидозе. КТ-паттерны заболевания были систематизированы в согласованные категории с определениями, которые в настоящее время широко распространены [7]. Но, не-

смотря на стандартизированные определения, согласие между наблюдателями относительно наличия и степени этих основных паттернов варьируется [8]. На основе радиологических критериев J.G.Scadding [9] разработал систему стадирования, которая является общепринятой визуальной (качественной) классификацией саркоидоза, но для определения клинической тактики и прогнозирования исхода заболевания несовершенна, так как основана на обобщённом принципе наличия или отсутствия характерных патоморфологических изменений в лёгочной ткани и внутригрудных лимфатических узлах, без определения ведущих рентгенологических паттернов и объёма поражения лёгочной паренхимы [10]. Последовательный переход из стадии в стадию по J.G.Scadding, как правило, не наблюдается, у больных в разные периоды течения заболевания дифференцируются патологические изменения, характерные для нескольких стадий. Стадийность является переменной величиной, изменчивость которой зависит от многих причин, в том числе от методов диагностики и качества интерпретации результатов специалистом, и может не коррелировать с клиническими проявлениями, учитывая и тот факт, что саркоидоз является системным (полиорганным) заболеванием, при котором установить те или иные стадии нередко не представляется возможным. В связи с этим, возможно, правильное выделять клинко-рентгенологические формы саркоидоза, основанные на комбинации рентгенологических паттернов [11]. Для клиницистов полезно было бы определение степеней тяжести заболевания, согласно рентгенологической картине, в таких категориях, как лёгкая, средняя и тяжёлая, особенно у пациентов с хроническим прогрессирующим течением заболевания, для определения тактики терапии. В идеале удобная для пользователя система определения степени тяжести должна основываться на одном тесте, будь то визуализация, функция легких или биомаркер.

Цель настоящего исследования – используя разработанный метод КТ-денситоволюмерии, определить и проанализировать достоверность различий количе-

ственных денситоволюметрических показателей в группах J.G.Scadding и группах, дифференцированных по качественным рентгенологическим признакам (паттернам), оценить диагностическую значимость полученных количественных показателей в сравнении с функциональными лёгочными тестами.

### Материалы и методы исследования

В исследование включены 101 пациент с диагнозом саркоидоза, обратившиеся в клинику Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания. Из них 31 мужчина и 70 женщин европеоидной расы, средний возраст составил  $46,8 \pm 1,3$  лет, рост  $168,1 \pm 1,0$  см, вес  $76,6 \pm 1,7$  кг. Диагноз установлен в соответствии с Международной классификацией болезней 10-го пересмотра, Федеральными клиническими рекомендациями [12], критериями WASOG [2]. Исследование одобрено локальным Комитетом по биомедицинской этике Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания и проведено с соблюдением требований Хельсинкской декларации (Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта, WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013), Федерального закона 323-ФЗ от 21 ноября 2011 г. «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» (с изменениями от 25 июня 2012 г.). Условия проведения функциональных исследований были соблюдены в соответствии с требованиями совместного пересмотра Американского торакального общества и Европейского респираторного общества [13–15]. В перечень критериев исключения вошли бронхиальная астма, хронический обструктивный бронхит, активный туберкулез, рак легкого и прочие заболевания органов дыхания в активной фазе, беременность и кормление грудью.

Дизайн данного исследования включал в себя: оценку вентилиционной функции лёгких методом спирометрии на аппарате Easy on-PC (nddMedizintechnik AG, Швейцария) с анализом параметров поток-объем форсированного выдоха в процентах к должным значениям (ИТ, ОФВ<sub>1</sub>, ФЖЕЛ, ПОС, МОС<sub>50</sub>, МОС<sub>75</sub>, СОС<sub>25-75</sub>) и последующим исследованием обратимости бронхиальной обструкции после ингаляции  $\beta_2$ -адреномиметика (сальбутамол, 400 мкг) (ДОФВ<sub>1</sub>, %). По данным общей плетизмографии, выполненной на аппарате PowerCube Body+ (Ganshorn, Германия), оценивали в процентах от должной величины общую ёмкость лёгких (ОЕЛ), внутригрудной объём газа (ВГО), остаточный объём лёгких (ООЛ), соотношение ООЛ/ОЕЛ. Исследование диффузионной способности лёгких проводили на аппарате CO-Diffusion (Ganshorn, Германия) с определением DLCO (%), KCO (%), VA (л). Методом разведения гелия определяли резервный объём выдоха (ERV-He, л), общую ёмкость лёгких (TLC-He, %), функциональную остаточную ёмкость (FRC-He, %),

RV/TLC-He (%), остаточный объём лёгких (RV-He, %).

Двухэтапную КТ органов грудной клетки выполняли на сканерах Canon Aquilion Lightning 160 и Activision 16 (Toshiba, Япония) на уровне максимального вдоха и выдоха, с последующей трехмерной реконструкцией. Сканирование проводили от верхушки до основания легкого в положении пациента на спине без введения контрастного препарата. Толщина среза при исследовании составила 1 мм, шаг реконструкции – 1 мм. С помощью программного обеспечения Vitrea Lung Density Analysis с автоматической сегментацией анализировали полученные изображения.

Для количественной оценки использовался предложенный нами ранее трёхуровневый денситометрический диапазон: от -850 HU и ниже (верхний диапазон плотности), соответствующий плотности воздуха; от -850 до -650 HU (средний диапазон плотности), соответствующий плотности нормальной лёгочной ткани, и от -650 до 0 HU (нижний диапазон плотности), соответствующий плотности изменённой, слабоаэрируемой лёгочной ткани [16].

По трехмерным моделям, основанным на автоматической денситоволюметрии, оценивали следующие объемные параметры, измеряемые в мл: инспираторная воздухонаполненность (инспираторная фаза, верхний диапазон плотности) правого (ИВп) и левого лёгкого (ИВл), суммарная инспираторная воздухонаполненность обоих лёгких (ИВ<sub>2</sub>); показатель объёма в среднем диапазоне плотности в инспираторную фазу в правом (ИСп) и левом лёгком (ИСл), показатель объёма в среднем диапазоне плотности в инспираторную фазу в обоих лёгких (ИС<sub>2</sub>); показатель объёма в нижнем диапазоне плотности в инспираторную фазу в правом (ИНп) и левом лёгком (ИНл), показатель объёма в нижнем диапазоне плотности в инспираторную фазу в обоих лёгких (ИН<sub>2</sub>); инспираторный объём правого лёгкого (ИОп) (сумма ИВп и ИСп), инспираторный объём левого лёгкого (ИОл), инспираторный объём обоих лёгких (ИО<sub>2</sub>); инспираторный индекс правого лёгкого (ИИп) – отношение ИВп к ИОп, инспираторный индекс левого лёгкого (ИИл) – отношение ИВл к ИОл, инспираторный индекс обоих лёгких (ИИ<sub>2</sub>) – отношение ИВ<sub>2</sub> к ИО<sub>2</sub>; экспираторная воздухонаполненность (экспираторная фаза, верхний диапазон плотности) правого (ЭВп) и левого лёгкого (ЭВл), суммарная экспираторная воздухонаполненность обоих лёгких (ЭВ<sub>2</sub>); показатель объёма в среднем диапазоне плотности в экспираторную фазу в правом (ЭСп) и левом лёгком (ЭСл), показатель объёма в среднем диапазоне плотности в экспираторную фазу в обоих лёгких (ЭС<sub>2</sub>); показатель объёма в нижнем диапазоне плотности в экспираторную фазу в правом (ЭНп) и левом лёгком (ЭНл), показатель объёма в нижнем диапазоне плотности в экспираторную фазу в обоих лёгких (ЭН<sub>2</sub>); экспираторный объём правого лёгкого (ЭОп) (сумма показателей ЭВп и ЭСп), экспираторный объём левого лёгкого (ЭОл) (сумма показателей ЭВл и

ЭСл), суммарный экспираторный объём обоих лёгких ( $\text{ЭО}_2$ ) (сумма показателей  $\text{ЭВ}_2$  и  $\text{ЭС}_2$ ), экспираторный индекс правого лёгкого ( $\text{ЭИп}$ ) – отношение  $\text{ЭВп}$  к  $\text{ЭОп}$ , экспираторный индекс левого лёгкого ( $\text{ЭИл}$ ) – отношение  $\text{ЭВл}$  к  $\text{ЭОл}$ , экспираторный индекс обоих лёгких ( $\text{ЭИ}_2$ ) – отношение  $\text{ЭВ}_2$  к  $\text{ЭО}_2$ . Рассчитывали относительную остаточную воздушнонаполненность, выраженную в процентах, для правого лёгкого ( $\text{ОВп}=\text{ЭВп}/\text{ЭОп}$ , %), для левого лёгкого ( $\text{ОВл}=\text{ЭВл}/\text{ЭОл}$ , %) и суммарную ( $\text{ОВ}_2$ ) для обоих лёгких [16].

Статистическую обработку проводили с помощью стандартных методов вариационной статистики. Характеристики исследуемой популяции для выборки с нормальным распределением выражали с использованием среднего значения ( $M$ ) и стандартной ошибки среднего ( $m$ ). Для выборок с распределением, отличным от нормального, определяли медиану и интерквартильный размах. Для оценки достоверности различий использовали непарный критерий ( $t$ ) (Стьюдента), непараметрические критерии Манна-Уитни и Колмогорова-Смирнова. Для сравнения количественных признаков при небольшом объеме выборки использовали критерий Манна-Уитни-Вилкоксона. При малом объеме выборки при попарном сравнении использовали критерий Вилкоксона. С целью определения степени связи между двумя случайными величинами проводили классический корреляционный анализ, рассчитывали коэффициенты корреляции по Пирсону ( $r$ ) и Спирмену ( $R_s$ ). Для всех величин значение  $p$  менее 0,05 считалось значимым.

### Результаты исследования

После анализа данных КТ пациенты были разделены на 5 групп согласно классификации J.G.Scadding [9]: группа 1 – стадия 0 (нет патологических измене-

ний), группа 2 – стадия I (внутригрудная лимфаденопатия без поражения паренхимы лёгких); группа 3 – стадия II (внутригрудная лимфаденопатия с поражением паренхимы лёгких); группа 4 – стадия III (поражение паренхимы лёгких без внутригрудной лимфаденопатии); группа 5 – стадия IV (признаки фиброза легких). Легочный саркоидоз был классифицирован как стадия 0 у троих участников исследования (2,9%), стадия I у восьми (7,9%), стадия II у пятидесяти (49,5%), стадия III у тридцати трёх (32,7%) и стадия IV – у семи (6,9%) [16].

Согласно комбинации качественных признаков – основных рентгенологических паттернов, характерных для саркоидоза, выделили также 5 групп пациентов: группа А – нет изменений или единичные очаговые уплотнения в паренхиме лёгких без увеличения лимфатических узлов; группа В – увеличение лимфатических узлов без изменений в паренхиме лёгких или/и увеличение лимфатических узлов и единичные очаговые уплотнения; группа С – диссеминация и увеличение лимфатических узлов или/и диссеминация, крупные фокусы, матовое стекло и увеличение лимфатических узлов; группа D – диссеминация без увеличения лимфатических узлов или/и очаговые уплотнения, консолидации без увеличения лимфатических узлов; группа Е – необратимые фиброзные изменения и увеличение/изменения (уплотнение, кальцификация) лимфатических узлов. Объединение пациентов в данные группы основывалось только на визуальной (качественной) оценке данных КТ.

В сравнении с контрольной группой здоровых лиц ( $n=21$ ), пациенты с саркоидозом ( $n=101$ ) были старше по возрасту, ниже по росту и тяжелее по весу. Сравнительная клиническая характеристика пациентов представлена в таблице 1.

Таблица 1

### Клиническая характеристика обследованного контингента больных (патоморфологические рентгенологические группы)

Показатели		Контроль (n=21)	Общая гр. (n=101)	Группа А (n=29)	Группа В (n=35)	Группа С (n=21)	Группа D (n=9)	Группа Е (n=7)
Возраст, лет		40,7±3,1	46,8±1,3	46,5±2,2	46,3±2,3	46,1±2,9	45,5±5,1	55,7±4,9 p=0,0025
Пол, %	муж.	52,4%	29,7%	31%	20%	38,1%	22,2%	57,1%
	жен.	47,6%	70,3%	69%	80%	61,9%	77,8%	42,9%
Рост, см		173,7±2,6	166,2±0,9 p=0,002	166,7±1,3 p=0,0116	164,3±1,6 p=0,0017	168,7±2,3	165,7±4,7	166,8±4,6
Вес, кг		73,7±4,0	85,3±3,1 p=0,0399	79,3±3,5	89,7±3,5 p=0,005 p <sub>2</sub> =0,0408	78,0±3,9 p <sub>3</sub> =0,0366	86,3±9,36	75,2±3,0

*Примечание:* здесь и далее  $p$  – значимость различий в сравнении с контрольной группой (контроль);  $p_1$  – значимость различий в сравнении с общей группой саркоидоза;  $p_2$  – значимость различий в сравнении с группой А;  $p_3$  – значимость различий в сравнении с группой В;  $p_4$  – значимость различий в сравнении с группой С;  $p_5$  – значимость различий в сравнении с группой D;  $p_6$  – значимость различий в сравнении с группой 1;  $p_7$  – значимость различий в сравнении с группой 2;  $p_8$  – значимость различий в сравнении с группой 3;  $p_9$  – значимость различий в сравнении с группой 4;  $p_{10}$  – значимость различий в сравнении с группой 5.



С поправкой на клинические данные, у пациентов общей группы регистрировались статистически значимо более низкие значения  $MOC_{75}$  и  $SOC_{25-75}$ , отражающих проходимость дистальных бронхов (табл. 2). У пациентов группы А выявлено достоверное снижение  $ОФВ_1$  в сравнении с 3 группой и  $MOC_{75}$  в сравнении с контрольной и 3 группами. В группе В отмечалось достоверное снижение  $MOC_{75}$  и  $SOC_{25-75}$  в сравнении с контрольной группой, значения  $MOC_{75}$  были также достоверно ниже, чем в группе А. В группе С были достоверно снижены значения  $ОФВ_1$ ,  $MOC_{75}$ ,  $SOC_{25-75}$  в сравнении с контрольной группой.  $ОФВ_1$  также был достоверно ниже в сравнении с группой А. В группе D определилась достоверная разница показателей ИТ,  $MOC_{50}$ ,  $MOC_{75}$ ,  $SOC_{25-75}$  в сравнении с конт-

рольной группой. В этой же группе ИТ, ПОС,  $MOC_{75}$ ,  $SOC_{25-75}$  были достоверно ниже показателей группы А. В группе Е значения ИТ,  $MOC_{50}$ ,  $MOC_{75}$ ,  $SOC_{25-75}$ ,  $\Delta ОФВ_1$  (%)  $\beta_2$ агонист были достоверно ниже, чем в контрольной группе (табл. 2), а ИТ – ниже, чем в 5 группе (рис. 1, 2).

При сравнении показателей спирографии в группах, выделенных по классификации J.G.Scadding, установлено достоверное снижение  $ОФВ_1$  ( $p=0,0156$ ),  $MOC_{75}$  ( $p=0,005$ ) и  $SOC_{25-75}$  ( $p=0,001$ ) у пациентов 3 группы по сравнению с контрольной группой. В 4 группе из показателей спирометрии форсированного выдоха достоверно сниженным оказался лишь  $MOC_{75}$  ( $p=0,0149$ ), в 5 группе –  $MOC_{50}$  ( $p=0,0260$ ) [16].

Таблица 2

Сравнительный анализ показателей спирографии

Показатели	Контроль (n=21)	Общая гр. (n=101)	Группа А (n=29)	Группа В (n=35)	Группа С (n=21)	Группа D (n=9)	Группа Е (n=7)
ИТ, %	81,5±1,2	78,9±0,7	80,4±1,3	78,8±1,2	79,2±1,5	74,7±1,5 $p=0,0059$ $p_2=0,0394$	74,0±3,7 $p=0,0191$ $p_7=0,0303$ $p_{10}=0,0432$
ФЖЕЛ, % долж.	106,4±3,9	99,8±2,2	103,1±5,6	100,6±3	96,5±3,1	99,1±3,5	97,7±12,3
$ОФВ_1$ , % долж.	106,9±4,1	99,3±1,8	106,1±3,8 $p_8=0,0396$	99,1±2,5	94,4±3,1 $p=0,0231$ $p_2=0,0341$	92,1±4,0	90,3±11,4
ПОС, % долж.	109,3±6,0	101,7±2,1	107,6±3,2	101,6±3,2	103,2±4,7	89,1±6,8 $p_2=0,0142$	91,4±14,3
$MOC_{50}$ , % долж.	106,9±6,6	91,4±5,9	95,2±6,7	100,0±15,1	87,1±7,3	68,2±5,0 $p=0,0022$	65,6±12,0 $p=0,0055$
$MOC_{75}$ , % долж.	99,2±9,0	67,2±3,1 $p=0,0009$	77,9±6,1 $p=0,0486$ $p_8=0,0301$	62,1±5,0 $p=0,0002$ $p_2=0,0428$	87,1±7,3 $p=0,0131$	49,8±5,1 $p=0,0037$ $p_2=0,0303$	60,3±13,2 $p=0,0394$
$SOC_{25-75}$ , % долж.	106,5±7,1	83,8±3,1 $p=0,0025$	94,0±6,2	81,6±4,3 $p=0,0026$	83,6±7,1 $p=0,0291$	65,4±5,5 $p=0,0028$ $p_2=0,0296$	67,1±13,0 $p=0,0130$
$\Delta ОФВ_1$ $\beta_2$ -агонист*, %	5,4 [2,1; 6,42]	3,5 [0,9; 7,32]	4,0 [0,01; 7,8]	3,6 [1,0; 7,5]	2,6 [1,0; 6,3]	2,0 [2,5; 9,8]	1,46 [0,01; 4,0] $p=0,0435$

При сравнении бронхиального сопротивления и параметров воздушности лёгких, полученных методом бодиплетизмографии, статистически значимой разницы не выявлено (табл. 3).

Ни в одной из групп больных саркоидозом не выявлено изменений диффузионной способности лёгких и объемов, измеренных методом разведения гелия (табл. 4).

По данным КТ-денситоволуметрии, по всем инспираторным показателям определялась статистически значимая разница между группами пациентов с саркоидозом (табл. 5). Группа А значимо отличалась в сторону увеличения от общей группы саркоидоза по показателям ИВп, ИВл, ИВ<sub>2</sub>; от группы 3 в сторону

увеличения по показателям ИВп, ИВл, ИВ<sub>2</sub>, ИОп, ИО<sub>2</sub> и в сторону уменьшения по ИНл, ИН<sub>2</sub>; и от группы 5 в сторону уменьшения по показателям ИНл, ИН<sub>2</sub>. Группа В значимо отличалась в сторону уменьшения от контрольной группы по показателям ИВп, ИВл, ИВ<sub>2</sub>, ИОп, ИО<sub>2</sub>; от группы А по показателям ИВп, ИВ<sub>2</sub>, ИОп, ИО<sub>2</sub>, ИИп, ИИл, ИИ<sub>2</sub>; от группы 1 по показателям ИВп, ИВ<sub>2</sub>; от группы 3 по показателям ИНп, ИН<sub>2</sub>; от группы 5 по показателям ИНп, ИНл, ИН<sub>2</sub>; в сторону увеличения от контрольной группы по показателям ИСп, ИС<sub>2</sub>. Группа С имела статистически значимые различия с группой А в сторону увеличения по показателям ИНп, ИН<sub>2</sub>, в сторону уменьшения по показателям ИИп, ИИл, ИИ<sub>2</sub>; с группой В в сторону

увеличения по показателям ИНл, ИН<sub>2</sub>. Группа D в сторону уменьшения достоверно отличалась от группы A по показателям ИВп, ИВл, ИВ<sub>2</sub>, ИОп; ИИп, ИИл, ИИ<sub>2</sub>; в сторону увеличения по показателям ИНп, ИНл, ИН<sub>2</sub>; от группы B с сторону увеличения по показателям ИНл, ИН<sub>2</sub>. Группа E имела достоверные отличия с контрольной группой в сторону уменьшения по показателям ИВп, ИВ<sub>2</sub>, ИИ<sub>2</sub>; в сторону увеличения по показателям ИСп, ИСл, ИС<sub>2</sub>, ИНп, ИНл, ИН<sub>2</sub>; с группой A и группой 3 в сторону увеличения по показателям ИНп, ИНл, ИН<sub>2</sub>; с группой B и группой 4 по показателям ИНл, ИН<sub>2</sub> в сторону увеличения (рис. 3).

При сравнении денситометрических показателей экспираторной фазы дыхания достоверно снижались по сравнению с контрольной группой следующие по-

казатели: ЭОп в общей группе саркоидоза и в группе B; ЭО<sub>2</sub> в общей группе саркоидоза; ЭСп в общей, группе B и группе E; ЭС<sub>2</sub> в общей и группе B; ЭНп в группе E (табл. 6). Также выявлена и межгрупповая разница показателей: ЭВп в группе B был значимо ниже его значений в группе A. Показатели ЭОп в группе D были значимо ниже, чем в группах A и C. ЭОл был значимо ниже в группе D, чем в группе C. Показатели ЭО<sub>2</sub>, ЭСп и ЭС<sub>2</sub> в группе D были значимо ниже показателей групп A, B, C. Показатели ЭНп, ЭН<sub>2</sub> группы A достоверно отличались в сторону уменьшения от группы 5. Показатели ЭНп, ЭНл, ЭН<sub>2</sub> группы C были достоверно выше, чем группы A, те же показатели группы D выше показателей групп A и B. ЭНп и ЭН<sub>2</sub> группы E были выше, чем в группе A.

Таблица 3

Сравнительный анализ показателей бодиплетизмографии

Показатели (% долж.)	Контроль (n=21)	Общая гр. (n=101)	Группа A (n=29)	Группа B (n=35)	Группа C (n=21)	Группа D (n=9)	Группа E (n=7)
ОЕЛ	109,0 [87,0; 114,0]	109,0 [95,0; 123,0]	114,0 [102,5; 125,0]	114,0 [95,5; 123,0]	101,0 [92,0; 112,5]	100,0 [92,0; 120,5]	88,0 [83,0; 108,0]
ВГО	104,0 [91,0; 121,0]	105,0 [88,0; 129,0]	105,0 [84,5; 135,0]	102,0 [88,0; 122,0]	106,0 [91,0; 112,5]	98,0 [92,0; 132,5]	96,0 [93,0; 112,0]
ООЛ	108,0 [73,0; 134,0]	117,5 [98,0; 150,0]	115,0 [98,0; 147,5]	121,0 [98,0; 145,0]	110,5 [97,0; 124,5]	118,0 [104,0; 149,5]	102,0 [83,0; 137,0]
ООЛ/ОЕЛ	104,0 [75,0; 112,0]	109,0 [94,0; 126,0]	106,0 [92,5; 124,5]	111,6 [93,0; 120,5]	103,5 [93,5; 119,5]	116,0 [107,0; 125,0]	124,0 [88,0; 126,0]
ВГО/ОЕЛ	99,0 [85,0; 109,0]	98,0 [88,0; 112,0]	98,0 [81,5; 114,0]	94,0 [88,5; 106,5]	99,5 [90,0; 113,5]	101,0 [98,5; 108,0]	107,0 [97,0; 114,0]

Таблица 4

Сравнительный анализ показателей диффузионной способности и объемов лёгких

Показатели	Контроль (n=21)	Общая гр. (n=101)	Группа A (n=29)	Группа B (n=35)	Группа C (n=21)	Группа D (n=9)	Группа E (n=7)
ERV-He, л	1,08 [0,9; 1,3]	0,8 [0,5; 1,1]	0,9 [0,3; 1,1]	0,5 [0,4; 0,7]	1,1 [1,0; 1,8]	0,9 [0,3; 1,8]	1,1 [0,5; 1,7]
TLC-He, %	97,0 [83,0; 105,0]	92,5 [82,0; 104,0]	96,0 [86,0; 107,5]	92,0 [85,0; 104,0]	87,0 [77,5; 101,0]	95,0 [82,0; 105,5]	86,0 [84,0; 100,0]
FRC-He, %	97,0 [92,0; 103,0]	86,0 [74,0; 106,0]	89,0 [73,0; 106,0]	83,0 [71,5; 102,5]	98,0 [79,0; 109,0]	84,5 [75,0; 111,5]	85,0 [78,0; 86,0]
RV-He, %	87,0 [87,0; 97,0]	84,0 [68,0; 103,0]	85,0 [69,5; 105,5]	91,0 [71,5; 103,5]	82,0 [68,5; 99,5]	87,0 [62,5; 99,5]	71,0 [68,0; 82,0]
RV/TLC-He, %	82,0 [79,0; 89,0]	88,5 [75,0; 108,0]	86,5 [73,0; 109,0]	98,0 [76,0; 109,5]	89,0 [76,0; 105,5]	83,5 [75,5; 102,0]	85,0 [78,0; 97,0]
DLCO, %	95,0 [92,0; 101,0]	97,0 [85,0; 106,0]	102,0 [86,0; 110,0]	97,0 [85,0; 103,0]	88,0 [84,0; 101,5]	101,5 [88,5; 104,0]	96,0 [94,0; 103,0]
KCO TLCO, %	93,0 [89,0; 104,0]	103,0 [93,5; 117,0]	102,5 [84,0; 119,5]	101,5 [94,5; 117,5]	104,0 [93,0; 116,0]	102,0 [93,5; 110,0]	110,0 [103,0; 112,0]
VA, л	5,4 [5,1; 5,9]	5,0 [4,1; 6,3]	5,2 [4,4; 6,2]	5,0 [4,1; 6,2]	4,8 [4,1; 6,5]	5,3 [4,0; 7,2]	5,6 [4,0; 7,6]

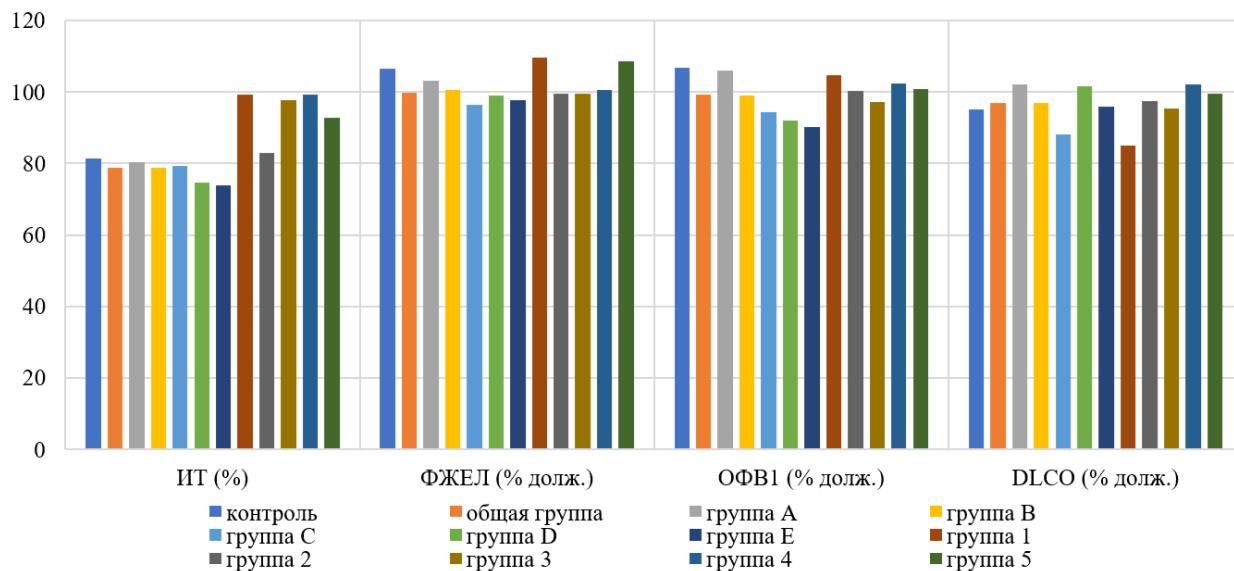


Рис. 1. Средние значения показателей функции внешнего дыхания.

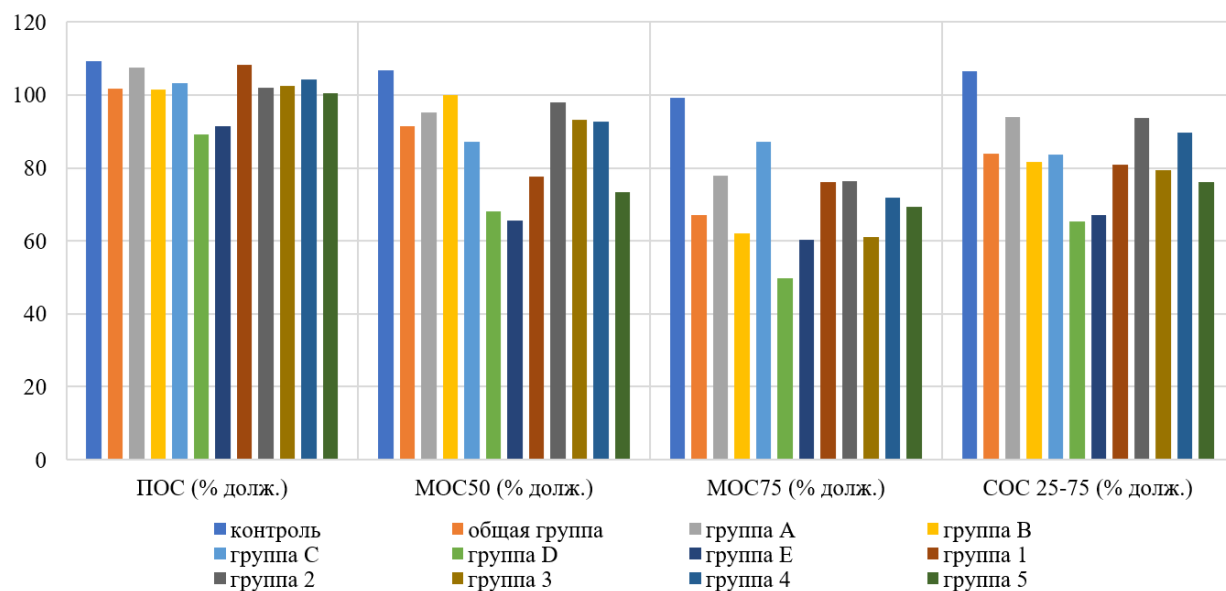


Рис. 2. Средние значения показателей функции внешнего дыхания.

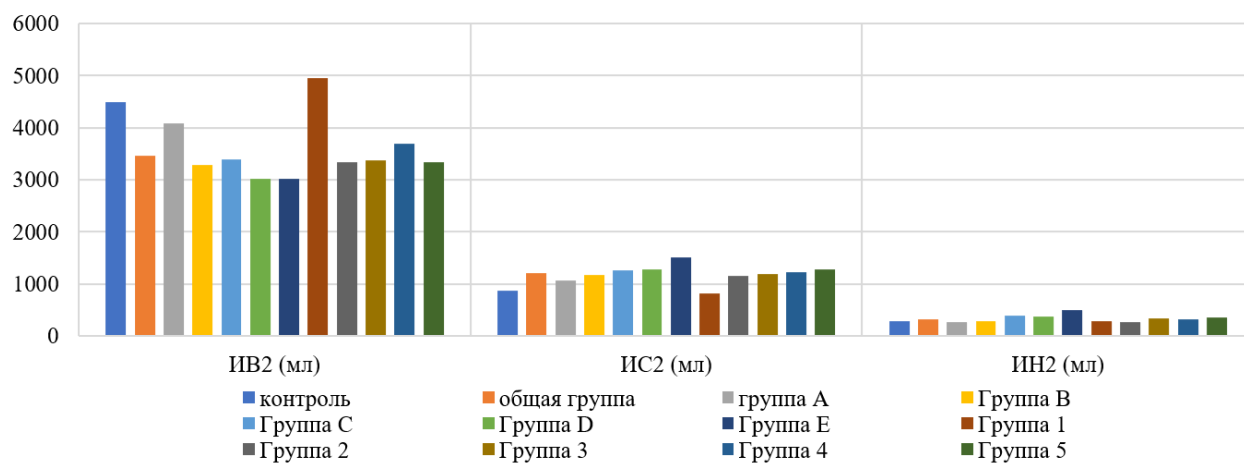


Рис. 3. Средние значения показателей КТ-денситоволуметрии.

Таблица 5

Сравнительный анализ инспираторных денситометрических показателей

Показатели	Контроль (n=21)	Общая гр. (n=101)	Группа А (n=29)	Группа В (n=35)	Группа С (n=21)	Группа D (n=9)	Группа Е (n=7)
ИВп (мл)	2402,5±168,6	1824,3±71,8 p=0,0012	2160,7±135,9 p <sub>1</sub> =0,0284 p <sub>8</sub> =0,0171	1740,2±120,8 p=0,0019 p <sub>2</sub> =0,0238 p <sub>6</sub> =0,0363	1783,1±126,5	1593,0±139,4 p <sub>2</sub> =0,0432	1580,9±392,2 p=0,034
ИВл (мл)	2078,8±162,2	1628,8±65,1 p=0,0057	1930,3±125,0 p <sub>1</sub> =0,0308 p <sub>8</sub> =0,0219	1533,5±110,0 p=0,0057	1610,3±118,4	1418,5±132,3 p <sub>2</sub> =0,0478	1444,4±353,6
ИВ <sub>2</sub> (мл)	4483,9±329,4	3456,0±135,6 p=0,0024	4091,0±258,4 p <sub>1</sub> =0,0287 p <sub>8</sub> =0,019	3282,3±228,9 p=0,0033 p <sub>2</sub> =0,0198 p <sub>6</sub> =0,0494	3393,4±242,0	3011,5±268,9 p <sub>2</sub> =0,0435	3025,3±733,7 p=0,0492
ИОп (мл)	2848,0±152,4	2460,1±58,6 p=0,0086	2687,1±98,4 p <sub>8</sub> =0,0476	2382,5±102,3 p=0,0110 p <sub>2</sub> =0,038	2466,6±125,4	2263,9±152,7 p <sub>2</sub> =0,0457	2389,4±299,3
ИОл(мл)	2506,6±148,3	2170,8±55,8 p=0,0172	2376,0±100,5	2075,9±95,9 p=0,0136 p <sub>2</sub> =0,0354 p <sub>6</sub> =0,0499	2196,1±113,7	2023,5±169,3	2144,7±297,2
ИО <sub>2</sub> (мл)	5352,9±300,0	4630,9±113,3 p=0,0116	5063,1±197,6 p <sub>8</sub> =0,0427	4458,5±197,0 p=0,0120 p <sub>2</sub> =0,0356	4662,4±237,2	4287,4±319,4	4534,1±580,2
ИСп (мл)	445,0±39,5	641,6±33,3 p=0,0111	556,5±75,0	633,8±52,5 p=0,0158	683,4±58,3	671,0±74,1	808,4±146,7 p=0,0024
ИСл (мл)	424,6±35,3	661,9±77,4	500,2±68,6	550,2±44,4	1062,5±331,6	605,1±77,0	700,0±159,5 p=0,0183
ИС <sub>2</sub> (мл)	869,5±74,0	1199,7±63,2 p=0,0243	1056,7±143,1	1176,2±95,3 p=0,0308	1269,2±114,7	1276,1±149,5	1508,4±297,6 p=0,0057
ИНп (мл)	146,1±9,0	194,2±21,2	208,7±69,1	154,4±6,0 p <sub>8</sub> =0,0384 p <sub>10</sub> =0,0010	209,1±14,9 p <sub>2</sub> =0,0002	204,4±23,6 p <sub>2</sub> =0,0045	274,6±73,5 p=0,0078 p <sub>2</sub> =0,0010 p <sub>8</sub> =0,0044
ИНл (мл)	132,7±5,6	153,0±6,9	130,8±7,0 p <sub>8</sub> =0,0325 p <sub>10</sub> =0,0101	136,5±4,8 p <sub>10</sub> =0,0060	184,3±15,5 p <sub>1</sub> =0,0012 p <sub>3</sub> =0,0008	169,1±18,4 p <sub>2</sub> =0,0245 p <sub>3</sub> =0,0177	224,0±66,4 p=0,0274 p <sub>1</sub> =0,0227 p <sub>2</sub> =0,0101 p <sub>3</sub> =0,0061 p <sub>8</sub> =0,0303 p <sub>9</sub> =0,0202
ИН <sub>2</sub> (мл)	278,8±13,7	326,4±14,7	269,6±15,4 p <sub>8</sub> =0,0081 p <sub>10</sub> =0,0034	291,0±10,6 p <sub>8</sub> =0,0438 p <sub>10</sub> =0,0024	394,3±30,1 p <sub>2</sub> =0,0002 p <sub>3</sub> =0,0003	373,5±41,5 p <sub>2</sub> =0,0070 p <sub>3</sub> =0,0075	498,6±139,9 p=0,0138 p <sub>1</sub> =0,0098 p <sub>2</sub> =0,0034 p <sub>3</sub> =0,0024 p <sub>8</sub> =0,0114 p <sub>9</sub> =0,0088
ИИп (%)	0,90 [0,80; 0,90]	0,70 [0,60; 0,90] p=0,0022	0,86 [0,79; 0,89]	0,74 [0,63; 0,86] p <sub>2</sub> =0,0065	0,73 [0,66; 0,81] p <sub>2</sub> =0,0001	0,68 [0,63; 0,75] p <sub>2</sub> =0,0121	0,64 [0,48; 0,78]
ИИл (%)	0,80 [0,80; 0,90]	0,80 [0,61; 0,94]	0,85 [0,79; 0,90]	0,76 [0,62; 0,84] p <sub>2</sub> =0,0046	0,73 [0,68; 0,81] p <sub>2</sub> =0,0007	0,67 [0,63; 0,77] p <sub>2</sub> =0,0097	0,72 [0,53; 0,77]
ИИ <sub>2</sub> (%)	0,90 [0,80; 0,90]	0,80 [0,63; 0,92] p=0,0034	0,85 [0,79; 0,88]	0,75 [0,63; 0,86] p=0,0062 p <sub>2</sub> =0,0137	0,72 [0,67; 0,81] p <sub>2</sub> =0,0214	0,68 [0,63; 0,76] p <sub>2</sub> =0,0198	0,68 [0,50; 0,78] p=0,0114



Таблица 6

Сравнительный анализ экспираторных денситометрических показателей

Показатели	Контроль (n=21)	Общая гр. (n=101)	Группа А (n=29)	Группа В (n=35)	Группа С (n=21)	Группа D (n=9)	Группа Е (n=7)
ЭВп, мл	86,0 [41,0; 202,0]	51,0 [10,5; 116,0]	69,0 [10,0; 148,0]	34,0 [13,0; 106,0] $p_2=0,0220$	66,0 [23,0; 96,0]	14,5 [2,0; 122,0]	89,0 [8,0; 319,0]
ЭВл, мл	53,0 [11,0; 122,0]	27,0 [6,0; 90,0]	30,0 [5,5; 134,0]	28,5 [7,0; 89,0]	54,0 [14,0; 98,0]	11,0 [2,0; 44,0]	20,0 [4,0; 201,0]
ЭВ <sub>2</sub> , мл	143,0 [69,0; 339,5]	85,0 [16,5; 224,0]	99,0 [15,0; 343,0]	52,0 [19,5; 158,5]	134,0 [33,0; 193,0]	28,0 [3,5; 156,5]	149,0 [11,0; 500,5]
ЭОп, мл	1323,5±304,22	788,2±35,9 $p=0,001$	888,9±66,1	781,9±56,9 $p=0,0316$	786,4±63,9	537,4±96,9 $p_2=0,0143$ $p_4=0,0472$	879,1±200,9
ЭОл, мл	769,0±80,3	788,2±35,9 $p=0,001$	936,8±248,1	649,9±48,6	683,9±59,4	457,3±72,6 $p_4=0,0428$	742,4±199,9
ЭО <sub>2</sub> , мл	1780,1±163,1	1451,8±66,5 $p=0,0458$	1587,6±125,5	1460,2±101,0	1470,24±120,6	994,6±167,6 $p_2=0,0264$ $p_3=0,0464$ $p_4=0,0410$	1622,7±399,7
ОВп, %	0,05 [0,03; 0,07]	0,04 [0,01; 0,11]	0,04 [0,02; 0,11]	0,04 [0,01; 0,06]	0,04 [0,02; 0,05]	0,06 [0,01; 0,12]	0,15 [0,01; 0,22]
ОВл, %	0,04 [0,02; 0,06]	0,04 [0,01; 0,09]	0,04 [0,01; 0,09]	0,03 [0,02; 0,06]	0,03 [0,01; 0,08]	0,02 [0,01; 0,05]	0,16 [0,05; 0,25]
ОВ <sub>2</sub> , %	0,04 [0,02; 0,07]	0,03 [0,02; 0,08]	0,03 [0,02; 0,10]	0,03 [0,02; 0,07]	0,03 [0,02; 0,05]	0,05 [0,01; 0,07]	0,13 [0,11; 0,23]
ЭСп, мл	889,1±66,1	695,5±26,3 $p=0,0038$	767,6±47,9	723,0±41,9 $p=0,0302$	715,6±55,7	478,9±79,6 $p_2=0,0069$ $p_3=0,0145$ $p_4=0,0294$	627,6±86,6 $p=0,0443$ $p_6=0,0375$
ЭСл, мл	704,0±66,5	644,4±71,6	616,6±45,8	770,1±194,5	618,7±51,4	435,9±183,2	564,1±105,1
ЭС <sub>2</sub> , мл	1593,0±130,3	1273,9±49,3 $p=0,0014$	1384,1±92,7	1306,5±77,7 $p=0,0490$	1334,3±105,5	914,8±142,3 $p_2=0,0198$ $p_3=0,0321$ $p_4=0,0384$	1191,7±188,7
ЭНп, мл	330,3±23,5	393,8±15,0	337,3±24,0 $p_{10}=0,0352$	365,5±23,7	438,3±26,1 $p_2=0,7090$	497,9±63,6 $p_2=0,0072$ $p_3=0,0276$	473,6±80,4 $p=0,0269$ $p_2=0,0352$
ЭНл, мл	336,7±26,1	352,8±13,8	317,1±20,8	326,6±20,2	384,3±25,5 $p_2=0,0450$	430,3±61,8 $p_2=0,0323$ $p_3=0,0495$	425,1±92,1
ЭН <sub>2</sub> , мл	667,0±48,7	738,0±29,1	626,4±47,2 $p_{10}=0,0380$	691,3±42,9	822,6±50,7 $p_2=0,0075$	928,1±124,5 $p_2=0,0098$ $p_3=0,0326$	898,7±171,9 $p_2=0,0380$
ЭИп, %	0,09 [0,05; 0,18]	0,07 [0,03; 0,30]	0,09 [0,05; 0,12]	0,04 [0,03; 0,11]	0,09 [0,03; 0,12]	0,04 [0,01; 0,17]	0,08 [0,01; 0,31]
ЭИл, %	0,09 [0,04; 0,13]	0,05 [0,02; 0,12]	0,05 [0,01; 0,16]	0,05 [0,02; 0,08]	0,08 [0,03; 0,13]	0,03 [0,01; 0,05]	0,03 [0,01; 0,05]
ЭИ <sub>2</sub> , %	0,09 [0,04; 0,16]	0,06 [0,02; 0,13]	0,08 [0,04; 0,80]	0,04 [0,03; 0,12]	0,09 [0,04; 0,11]	0,02 [0,01; 0,13]	0,07 [0,01; 0,27]

При корреляционном анализе в группе А установлено наличие достоверных связей между показателями воздухонаполненности легких и проходимости бронхов, полученных при спирографии, бодиплетизмографии и диффузиометрии, с показателями КТ-денситоволюметрии. Показатель ИВ<sub>2</sub> с высокой достоверностью коррелировал с ФЖЕЛ ( $r=0,4$ ;  $p=0,0455$ ) и ОФВ<sub>1</sub> ( $r=0,4$ ;  $p=0,0368$ ), ИО<sub>2</sub> с ФЖЕЛ ( $r=0,39$ ;  $p=0,0489$ ) и ОФВ<sub>1</sub> ( $r=0,4$ ;  $p=0,0404$ ). У показателей ЭО<sub>2</sub> и ЭН<sub>2</sub> определены достоверные связи с ИТ (соответственно,  $r=-0,44$ ;  $p=0,0226$  и  $r=0,45$ ;  $p=0,0179$ ), МОС<sub>50</sub> (соответственно,  $r=-0,54$ ;  $p=0,0033$  и  $r=0,41$ ;  $p=0,0337$ ) и СОС<sub>25-75</sub> (соответственно,  $r=-0,46$ ;  $p=0,0154$  и  $r=0,38$ ;  $p=0,0477$ ). У ЭВ<sub>2</sub> установлена достоверная отрицательная связь с ИТ. ЭС<sub>2</sub> отрицательно коррелировал с показателями МОС<sub>50</sub> ( $r=-0,56$ ;  $p=0,0026$ ) и СОС<sub>25-75</sub> ( $r=-0,46$ ;  $p=0,0159$ ). У показателя ЭИ<sub>2</sub> выявлены достоверные отрицательные связи с ИТ ( $R_s=-0,49$ ;  $p=0,0157$ ) и МОС<sub>50</sub> ( $R_s=-0,45$ ;  $p=0,0269$ ). ОВ<sub>2</sub> положительно коррелировал с ФЖЕЛ ( $r=0,45$ ;  $p=0,0466$ ).

Выявлены отрицательные корреляционные взаимосвязи между параметрами бодиплетизмографии и КТ у пациентов группы А: ИВ<sub>2</sub> и RV/TLC ( $r=-0,44$ ;  $p=0,0209$ ), ИО<sub>2</sub> и RV/TLC ( $r=-0,52$ ;  $p=0,0053$ ). В группе В также установлено наличие достоверных связей между показателями воздухонаполненности легких и проходимости бронхов, полученных при спирографии и бодиплетизмографии, с показателями КТ-денситоволюметрии: ИВ<sub>2</sub> достоверно коррелировал с ФЖЕЛ ( $r=0,46$ ;  $p=0,0114$ ), ИО<sub>2</sub> с ПОС ( $r=0,39$ ;  $p=0,0339$ ). Достоверные отрицательные и положительные корреляции определены между ЭВ<sub>2</sub> и ИТ ( $R_s=-0,68$ ;  $p<0,0001$ ), ЭВ<sub>2</sub> и МОС<sub>75</sub> ( $R_s=-0,59$ ;  $p=0,0006$ ), ЭВ<sub>2</sub> и СОС<sub>25-75</sub> ( $R_s=-0,72$ ;  $p<0,0001$ ), ЭО<sub>2</sub> и ИТ ( $r=-0,75$ ;  $p<0,0001$ ), ЭО<sub>2</sub> и МОС<sub>75</sub> ( $r=-0,51$ ;  $p=0,004$ ), ЭО<sub>2</sub> и СОС<sub>25-75</sub> ( $r=-0,58$ ;  $p=0,0007$ ), ЭС<sub>2</sub> и ИТ ( $r=-0,7$ ;  $p<0,0001$ ), ЭС<sub>2</sub> и МОС<sub>75</sub> ( $r=-0,48$ ;  $p=0,0067$ ), ЭС<sub>2</sub> и СОС<sub>25-75</sub> ( $r=-0,56$ ;  $p=0,0013$ ), ЭН<sub>2</sub> и ИТ ( $r=0,48$ ;  $p=0,0070$ ), ЭН<sub>2</sub> и МОС<sub>75</sub> ( $r=0,47$ ;  $p=0,0092$ ), ЭН<sub>2</sub> и СОС<sub>25-75</sub> ( $r=0,47$ ;  $p=0,0089$ ), ЭИ<sub>2</sub> и ИТ ( $R_s=-0,6$ ;  $p=0,0006$ ), ЭИ<sub>2</sub> и МОС<sub>75</sub> ( $R_s=-0,57$ ;  $p=0,0016$ ), ЭИ<sub>2</sub> и СОС<sub>25-75</sub> ( $R_s=-0,69$ ;  $p=0,0001$ ), ОВ<sub>2</sub> и ИТ ( $R_s=-0,57$ ;  $p=0,0038$ ), ОВ<sub>2</sub> и МОС<sub>50</sub> ( $R_s=-0,53$ ;  $p=0,0083$ ), ОВ<sub>2</sub> и СОС<sub>25-75</sub> ( $R_s=-0,64$ ;  $p=0,0008$ ).

Положительные корреляционные взаимосвязи определены между параметрами вентиляционной функции легких и показателями КТ-денситометрии у пациентов из группы С: ИО<sub>2</sub> и МОС<sub>75</sub> ( $r=0,54$ ;  $p=0,0208$ ), ИО<sub>2</sub> и СОС<sub>25-75</sub> ( $r=0,47$ ;  $p=0,0095$ ). В группе С найдены положительные корреляционные взаимосвязи также между КСО, характеризующим диффузионную способность легких, и показателями КТ-денситоволюметрии: ИО<sub>2</sub> ( $r=0,46$ ;  $p=0,0456$ ) и ЭС<sub>2</sub> ( $r=0,46$ ;  $p=0,0469$ ). Диффузиометрический показатель альвеолярного объема прямо коррелировал с ИВ<sub>2</sub> ( $r=0,50$ ;  $p=0,0297$ ) и ИО<sub>2</sub> ( $r=0,48$ ;  $p=0,0383$ ).

Корреляционные связи в группах D и E не оценены в связи с малыми выборками.

## Обсуждение результатов исследования

Значения показателей количественной КТ органов грудной клетки, определённые новым методом КТ-денситоволюметрии, отличались от контрольной группы здоровых лиц в общей группе больных саркоидозом, в группах по классификации J.G.Scadding [9] и группах, объединённых по рентгенологическим паттернам. Также выявлены и межгрупповые статистически значимые различия. При этом если радиометрические показатели в рентгеноморфологических группах, как правило, последовательно возрастали или уменьшались в зависимости от объёма выявленных изменений, то в группах по J.G.Scadding не всегда прослеживались последовательные тенденции в зависимости от стадии. Это объясняется тем, что классическая классификация J.G.Scadding по стадиям основана на принципе наличия или отсутствия патологически изменённых лимфатических узлов, а также изменений непосредственно в ткани лёгких без учёта объёма поражения и имеет более обобщённое значение в отношении характерных для саркоидоза рентгенологических паттернов, хотя из полученных данных не ясно, какой из паттернов вносит наибольший вклад [10, 16]. Деление пациентов на группы, согласно сочетаниям рентгенологических признаков болезни, позволило выявить достоверную межгрупповую разницу показателей спирографии, чего не удалось классификации J.G.Scadding. Это подтверждает диагностическую значимость определения степени тяжести, соответствующей объёму патологических изменений в органе, а не «условной» стадии заболевания. Следовательно, количественная КТ-денситоволюметрия может использоваться для определения степени тяжести заболевания, но необходима дальнейшая работа по стандартизации количественных значений показателей плотности легочной ткани.

Мы обнаружили, что радиометрические данные различались как в левом, так и в правом легком, при этом большая часть статистически значимых различий в группах, основанных на классификации J.G.Scadding, обусловлена стадиями II и IV [16], а в группах, основанных на рентгеносемиотике, разница определялась объёмом изменений в группах А, В и Е. По инспираторным показателям верхнего диапазона плотности (от -850 HU и ниже) в обоих случаях стратификации выявилась тенденция к снижению значений в зависимости от объёма изменений и стадии заболевания по J.G.Scadding, как и к увеличению по показателям среднего (от -850 до -650 HU) и нижнего (от -650 до 0 HU) диапазонов плотности, но в случае деления по J.G.Scadding достоверные различия определялись только с контрольной группой и общей группой саркоидоза, а в группах по рентгенологическим паттернам определялись ещё и межгрупповые различия, в том числе и в сравнении с группами J.G.Scadding. Увеличение объёма плотных структур влечёт за собой уменьшение объёма лёгких на высоте вдоха за счёт снижения

эластичности лёгочной ткани, что объясняет рестриктивный тип нарушения вентиляции. Последовательных тенденций у этих же показателей в экспираторную фазу не наблюдалось. На КТ-плотность лёгких могут влиять несколько физиологических факторов, при этом объем легких является основным фактором, влияющим на воспроизводимость как визуальных, так и количественных изменений. Плотность легких в индивидуальном порядке может варьироваться на 80–100 единиц Хаунсфилда (HU) от полного вдоха до конца выдоха [7].

Показатели среднего и нижнего диапазонов плотности, отображающие количественное увеличение объема патологических малоаэрируемых и неаэрируемых изменений в лёгких согласно комбинации рентгенологических паттернов и степени поражения анатомических структур, диагностически значимы, на наш взгляд, только в инспираторную фазу, так как в средний диапазон входит объем нормальной лёгочной ткани и патологические структуры, сходные по денситометрическим показателям, например, малоинтенсивные очаговые уплотнения или изменения по типу «матового стекла», тогда как в экспираторную фазу плотность нормальной лёгочной ткани физиологически увеличивается за счёт гиповентиляции и может некорректно отображать недостоверное увеличение объема патологических структур.

Нами были обнаружены также и корреляционные связи между денситометрическими измерениями и показателями функции лёгких. Ассоциация между параметрами плотности легочной ткани и данными спирометрии предоставляет дополнительные доказательства потенциальной клинической пользы количественных рентгенологических методов диагностики легочного саркоидоза. Главными преимуществами радиометрического анализа являются автоматизированная вычислительная эффективность, быстрота

исполнения, воспроизводимость, операторнезависимость, что расширяет возможности использования этих методов в клинических условиях.

### Заключение

Оценка характера поражения исследуемого органа патологическим процессом – основная задача врача-рентгенолога, поскольку позволяет индивидуализировать и рационализировать последующее ведение пациента. Разработанный несколько десятилетий назад принцип классификации по J.G.Scadding не отражает реальное состояние поражённых саркоидозом органов дыхания, его эффективность в настоящее время значительно ниже, чем в момент создания по причине ограниченной чувствительности в определении распространённости и степени тяжести патологического процесса. Метод количественной оценки данных – КТ-денситоволюметрия – определил диагностическую разницу между подходами к стратификации пациентов с лёгочным саркоидозом, подтвердил большую клиническую значимость распределения пациентов в группы по сочетанию рентгенологических паттернов, но единой классификации, основанной на качественных характеристиках интерстициальных изменений при КТ в настоящее время не разработано, что представляет собой перспективное направление для дальнейших исследований.

### Конфликт интересов

Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи

### Conflict of interest

The author declares no conflict of interest

### Источники финансирования

Исследование проводилось без участия спонсоров

### Funding Sources

This study was not sponsored

## ЛИТЕРАТУРА

1. Castro M.D.C., Pereira C.A.C., Soares M.R. Prognostic features of sarcoidosis course in a Brazilian cohort // J. Bras. Pneumol. 2022. Vol.48, Iss.1. Article number: e20210366. <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20210366>
2. Statement on sarcoidosis Joint Statement of the American Thoracic Society (ATS), the European Respiratory Society (ERS) and the World Association of Sarcoidosis and Other Granulomatous Disorders (WASOG) adopted by the ATS Board of Directors and by the ERS Executive Committee, February 1999 // Am. J. Respir. Crit. Care Med. 1999. Vol.160, Iss.2. P.736–755. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.160.2.ats4-99>
3. Neville E., Walker A.N., James D.G. Prognostic factors predicting the outcome of sarcoidosis an analysis of 818 patients // Q. J. Med. 1983. Vol.52, Iss.208. P.525–533. PMID: 6657915
4. Walsh S.L., Wells A.U., Sverzellati N., Keir G.J., Calandriello L., Antoniou K.M. An integrated clinicoradiological staging system for pulmonary sarcoidosis a case-cohort study // Lancet Respir. Med. 2014. Vol.2, Iss.2. P.123–130. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(13\)70276](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(13)70276)
5. Bradley B., Branley H.M., Egan J.J., Greaves M.S., Hansell D.M., Harrison N.K., Hirani N., Hubbard R., Lake F., Millar A.B., Wallace W.A., Wells A.U., Whyte M.K., Wilsher M.L.; British Thoracic Society Interstitial Lung Disease Guideline Group, British Thoracic Society Standards of Care Committee; Thoracic Society of Australia; New Zealand Thoracic Society; Irish Thoracic Society. Interstitial lung disease guideline: the British Thoracic Society in collaboration with the Thoracic Society of Australia and New Zealand and the Irish Thoracic Society // Thorax. 2008. Vol.63, Suppl.5. P.v1–v58. <https://doi.org/10.1136/thx.2008.101691>

6. Beigelman-Aubry C., Hill C., Guibal A., Savatovsky J., Grenier P.A. Multi-detector row CT and postprocessing techniques in the assessment of diffuse lung disease // *Radiographics*. 2005. Vol.25, Iss.6. P.1639–1652. <https://doi.org/10.1148/rg.256055037>
7. Hansell D.M., Goldin J.G., King T.E. Jr, Lynch D.A., Richeldi L., Wells A.U. CT staging and monitoring of fibrotic interstitial lung diseases in clinical practice and treatment trials: a position paper from the Fleischner Society // *Lancet Respir. Med.* 2015. Vol.3, Iss.6. P.483–496. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(15\)00096-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(15)00096-X)
8. Gillies R.J., Kinahan P.E., Hricak H. Radiomics: images are more than pictures, they are data // *Radiology*. 2016. Vol.278, Iss.2. P.563–577. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015151169>
9. Scadding J.G. Prognosis of intrathoracic sarcoidosis in England. A review of 136 cases after five years' observation // *Br. Med. J.* 1961. Vol.2, Iss.5261. P.1165–1172. <https://doi.org/10.1136/bmj.2.5261.1165>
10. Dhagat P.K., Singh S., Jain M., Singh S.N., Sharma R.K. Thoracic sarcoidosis: imaging with high resolution computed tomography // *J. Clin. Diagn. Res.* 2017. Vol.11, Iss.2. P.TC15–TC18. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/24165.9459>
11. Леншин А.В., Игнатъева Е.А., Ильин А.В., Перельман Ю.М. К вопросу реформирования классификации торакального саркоидоза // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2021. Вып. 79. С. 8–20. EDN: OMJNYU. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2021-79-8-20>
12. Визель А.А., Визель И.Ю. Саркоидоз: основные положения проекта федеральных клинических рекомендаций // *Терапия*. 2019. №5. С.20–26. EDN:NXCGQZ. <https://doi.org/10.18565/therapy.2019.5.20-26>
13. 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. P.319–338. <https://doi.org/10.1183/09031936.05.00034805>
14. Coates A.L., Wanger J., Cockcroft D.W., Culver B.H., Kai-Håkon Carlsen, Diamant Z., Gauvreau G., Hall G.L., Hallstrand T.S., Horvath I., de Jongh F.H.C., Joos G., Kaminsky D.A., Laube B.L., Leuppi J.D., Sterk P.J. ERS technical standard on bronchial challenge testing: general considerations and performance of methacholine challenge tests // *Eur. Respir. J.* 2017. Vol.49. Article number: 1601526. <https://doi.org/10.1183/13993003.01526-2016>
15. Hallstrand T.S., Leuppi J.D., Joos G., Hall G.L., Carlsen K.H., Kaminsky D.A., Coates A.L., Cockcroft D.W., Culver B.H., Diamant Z., Gauvreau G.M., Horvath I., de Jongh F.H.C., Laube B.L., Sterk P.J., Wanger J. ERS technical standard on bronchial challenge testing: pathophysiology and methodology of indirect airway challenge testing // *Eur. Respir. J.* 2018. Vol.52, Iss.5. Article number: 1801033. <https://doi.org/10.1183/13993003.01033-2018>
16. Игнатъева Е.А., Ильин А.В., Перельман Ю.М. Диагностика лёгочного саркоидоза методом компьютерно-томографической денситоволюметрии // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2022. Вып.84. С.49–62. EDN: SSHCUV. <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2022-84-49-62>

## REFERENCES

1. Castro M.D.C., Pereira C.A.C., Soares M.R. Prognostic features of sarcoidosis course in a Brazilian cohort. *J. Bras. Pneumol.* 2022; 48(1):e20210366. <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20210366>
2. Statement on sarcoidosis Joint Statement of the American Thoracic Society (ATS), the European Respiratory Society (ERS) and the World Association of Sarcoidosis and Other Granulomatous Disorders (WASOG) adopted by the ATS Board of Directors and by the ERS Executive Committee, February 1999. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1999; 160(2):736–755. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.160.2.ats4-99>
3. Neville E., Walker A.N., James D.G. Prognostic factors predicting the outcome of sarcoidosis an analysis of 818 patients. *Q. J. Med.* 1983; 52(208):525–533. PMID: 6657915
4. Walsh S.L., Wells A.U., Sverzellati N., Keir G.J., Calandriello L., Antoniou K.M. An integrated clinicroadiological staging system for pulmonary sarcoidosis a case-cohort study. *Lancet Respir. Med.* 2014; 2(2):123–130. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(13\)70276](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(13)70276)
5. Bradley B., Branley H.M., Egan J.J., Greaves M.S., Hansell D.M., Harrison N.K., Hirani N., Hubbard R., Lake F., Millar A.B., Wallace W.A., Wells A.U., Whyte M.K., Wilsher M.L.; British Thoracic Society Interstitial Lung Disease Guideline Group, British Thoracic Society Standards of Care Committee; Thoracic Society of Australia; New Zealand Thoracic Society; Irish Thoracic Society. Interstitial lung disease guideline: the British Thoracic Society in collaboration with the Thoracic Society of Australia and New Zealand and the Irish Thoracic Society. *Thorax* 2008; 63(Suppl. 5):v1–v58. <https://doi.org/10.1136/thx.2008.101691>
6. Beigelman-Aubry C., Hill C., Guibal A., Savatovsky J., Grenier P.A. Multi-detector row CT and postprocessing techniques in the assessment of diffuse lung disease. *Radiographics* 2005; 25(6):1639–1652. <https://doi.org/10.1148/rg.256055037>
7. Hansell D.M., Goldin J.G., King T.E. Jr, Lynch D.A., Richeldi L., Wells A.U. CT staging and monitoring of fibrotic interstitial lung diseases in clinical practice and treatment trials: a position paper from the Fleischner Society. *Lancet*



*Respir. Med.* 2015; 3(6):483–496. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(15\)00096-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(15)00096-X)

8. Gillies R.J., Kinahan P.E., Hricak H. Radiomics: images are more than pictures, they are data. *Radiology* 2016; 278(2):563–577. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015151169>

9. Scadding J.G. Prognosis of intrathoracic sarcoidosis in England. A review of 136 cases after five years' observation. *Br. Med. J.* 1961; 2(5261):1165–1172. <https://doi.org/10.1136/bmj.2.5261.1165>

10. Dhagat P.K., Singh S., Jain M., Singh S.N., Sharma R.K. Thoracic sarcoidosis: imaging with high resolution computed tomography. *J. Clin. Diagn. Res.* 2017; 11(2): TC15–TC18. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/24165.9459>

11. Lenshin A.V., Ignat'eva E.A., Il'in A.V., Perelman J.M. [To the question of reforming the classification of thoracic sarcoidosis]. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания* = *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2004; (79): 8–20 (in Russian). <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2021-79-8-20>

12. Vizel A.A., Vizel I.Y. [Sarcoidosis: basic provisions of the project of federal clinical recommendations]. *Therapy*. 2019; (5): 20–26 (in Russian). <https://doi.org/10.18565/therapy.2019.5.20-26>

13. 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; 26:319–338. <https://doi.org/10.1183/09031936.05.00034805>

14. Coates A.L., Wanger J., Cockcroft D.W., Culver B.H., Kai-Håkon Carlsen, Diamant Z., Gauvreau G., Hall G.L., Hallstrand T.S., Horvath I., de Jongh F.H.C., Joos G., Kaminsky D.A., Laube B.L., Leuppi J.D., Sterk P.J. ERS technical standard on bronchial challenge testing: general considerations and performance of methacholine challenge tests. *Eur. Respir. J.* 2017; 49:1601526. <https://doi.org/10.1183/13993003.01526-2016>

15. Hallstrand T.S., Leuppi J.D., Joos G., Hall G.L., Carlsen K.H., Kaminsky D.A., Coates A.L., Cockcroft D.W., Culver B.H., Diamant Z., Gauvreau G.M., Horvath I., de Jongh F.H.C., Laube B.L., Sterk P.J., Wanger J. ERS technical standard on bronchial challenge testing: pathophysiology and methodology of indirect airway challenge testing. *Eur. Respir. J.* 2018; 52(5):1801033. <https://doi.org/10.1183/13993003.01033-2018>

16. Ignat'eva E.A., Il'in A.V., Perelman J.M. [Diagnostics of pulmonary sarcoidosis by the method of computed tomographic densitovolumetry]. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания* = *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration* 2022; (84):49–62 (in Russian). <https://doi.org/10.36604/1998-5029-2022-84-49-62>

---

**Информация об авторах:**

Елена Александровна Игнатьева, аспирант, лаборатория функциональных методов исследования дыхательной системы, врач-рентгенолог, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания»; e-mail: [ignatyevalena6618@gmail.com](mailto:ignatyevalena6618@gmail.com)

---

**Author information:**

Elena A. Ignat'eva, MD, Postgraduate Student of the Laboratory of Functional Research of Respiratory System, Roentgenologist, Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration; e-mail: [ignatyevalena6618@gmail.com](mailto:ignatyevalena6618@gmail.com)

---

Поступила 19.08.2022  
Принята к печати 31.08.2022

---

Received August 19, 2022  
Accepted August 31, 2022