



Влияние подтипа и объема эмфиземы по данным компьютерной томографии на вентиляционную и газообменную функции легких

Грива Н.А.¹, Гаврилов П.В.^{1,2}, Никитина И.А.¹, Кирюхина Л.Д.¹, Наркевич А.Н.³, Соколович Е.Г.^{1,2}

¹ ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России, Лиговский пр-т, 2-4, Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Университетская наб., 7-9, Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация

³ ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России, ул. Партизана Железняка, 1, Красноярский край, Красноярск, 660022, Российская Федерация

Грива Надежда Алексеевна, аспирант ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0003-3580-8723>

Гаврилов Павел Владимирович, к. м. н., вед. науч. сотр., руководитель направления «Лучевая диагностика» ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России, доцент научно-клинического и образовательно-го центра «Лучевая диагностика и ядерная медицина» Института высоких медицинских технологий ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; <http://orcid.org/0000-0003-3251-4084>

Никитина Инна Антоновна, ординатор ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0002-6910-2983>

Кирюхина Лариса Дмитриевна, к. м. н., вед. науч. сотр., руководитель направления «Клиническая физиология» ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; <http://orcid.org/0000-0001-6550-817X>

Наркевич Артем Николаевич, д. м. н., доцент, декан медико-психолого-фармацевтического факультета, заведующий кафедрой медицинской кибернетики и информатики, заведующий лабораторией медицинской кибернетики и управления в здравоохранении ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России; <https://orcid.org/0000-0002-1489-5058>

Соколович Евгений Георгиевич, д. м. н., профессор, зам. директора по научной работе ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России, профессор кафедры госпитальной хирургии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; <https://orcid.org/0000-0003-4794-0588>

Резюме

Цель: охарактеризовать взаимосвязь подтипа и объема эмфиземы легких на показатели вентиляционной и газообменной функций легких.

Материал и методы. Проанализированы данные лучевых и функциональных методов обследования 50 пациентов. Критерии включения: наличие установленного диагноза хронической обструктивной болезни легких и эмфиземы на компьютерной томограмме (КТ) (подтвержденных двумя рентгенологами), проведение комплексного исследования функции внешнего дыхания (ФВД), включающее спирометрию, бодиплетизмографию и измерение диффузионной способности легких по угарному газу методом одиночного вдоха с задержкой дыхания. Были исключены пациенты с первичной эмфиземой легких, наличием любых операций на легких в анамнезе и сочетанием эмфиземы с другими рентгенологическими синдромами в легких (консолидации, полости). КТ выполняли с толщиной среза 1 мм и стандартными параметрами сканирования на томографах фирмы Toshiba (Япония). Исследование ФВД проводили на установке экспертной диагностики MasterScreen Body Diffusion (VIASYS Healthcare, Германия) в соответствии с критериями корректности выполнения легочных функциональных тестов, предложенных совместной группой экспертов Американского торакального общества и Европейского респираторного общества. Волюмометрический анализ эмфиземы выполняли с применением пакета прикладной программы Lung Volume Analysis (Toshiba, Япония). В исследовании преобладали пациенты мужского пола – 84% (n = 42), преимущественно возрастной группы 61–70 лет.

Результаты. Изолированный тип эмфиземы встречался редко: центрилобулярная эмфизема у 6% больных ($n = 3$), парасептальная – у 4% ($n = 2$). В 90% случаев выявлен смешанный тип эмфиземы, при этом большую долю (66%, $n = 33$) занимали больные, имеющие преобладающий центрилобулярный компонент. Определено, что с увеличением объема эмфиземы ухудшалась проходимость дыхательных путей, увеличивались статические легочные объемы, гиперинфляция легких, ухудшался легочный газообмен, незначительно увеличивалось бронхиальное сопротивление при спокойном дыхании. С точки зрения корреляционных связей объема эмфиземы с другими параметрами ФВД статистически значимых результатов не выявлено.

Заключение. Увеличение объема эмфиземы ведет к ухудшению показателей ФВД, наибольший вклад в общую картину вносят пациенты со смешанным типом эмфиземы с преобладанием центрилобулярного компонента.

Ключевые слова: хроническая обструктивная болезнь легких; эмфизема; функция внешнего дыхания; искусственный интеллект.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов

Грива Н.А. – разработка концепции и дизайна исследования, сбор и анализ данных, подготовка рукописи; Гаврилов П.В. – разработка концепции и дизайна исследования, сбор и анализ данных, подготовка рукописи;

Никитина И.А. – сбор и анализ данных, подготовка рукописи;

Кирюхина Л.Д. – разработка концепции и дизайна исследования, сбор и анализ данных;

Наркевич А.Н. – статистическая обработка данных;

Соколов Е.Г. – разработка концепции и дизайна исследования, редактирование окончательного варианта статьи, проверка критически важного интеллектуального содержания.

Для цитирования: Грива Н.А., Гаврилов П.В., Никитина И.А., Кирюхина Л.Д., Наркевич А.Н., Соколов Е.Г. Влияние подтипа и объема эмфиземы по данным компьютерной томографии на вентиляционную и газообменную функции легких. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2021; 102(6): 349–58. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-6-349-358>

Для корреспонденции: Гаврилов Павел Владимирович, E-mail: spbniifrentgen@mail.ru

Статья поступила 26.07.2021

После доработки 29.11.2021

Принята к печати 30.11.2021

Impact of Emphysema Subtypes and Volume on Lung Ventilation and Gas Exchange Functions as Evidenced by Computed Tomography

Nadezhda A. Griva¹, Pavel V. Gavrilo^{1, 2}, Inna A. Nikitina¹, Larisa D. Kiryukhina¹, Artem N. Narkevich³, Evgeniy G. Sokolovich^{1, 2}

¹ Saint Petersburg State Research Institute of Phthiopulmonology, Ligovskiy prospekt, 2–4, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation

² Saint-Petersburg State University, Universitetskaya nab., 7–9, Saint-Petersburg, 199034, Russian Federation

³ Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, ul. Partizana Zheleznyaka, 1, Krasnoyarsk Territory, Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation

Nadezhda A. Griva, Postgraduate, Saint Petersburg State Research Institute of Phthiopulmonology; <http://orcid.org/0000-0003-3580-8723>

Pavel V. Gavrilo, Cand. Med. Sc., Leading Researcher, Head of Radiology Department, Saint Petersburg State Research Institute of Phthiopulmonology; Associate Professor, Scientific Clinical and Educational Center “Radiology and Nuclear Medicine”, Institute of High Medical Technologies, Saint Petersburg State University; <http://orcid.org/0000-0003-3251-4084>

Inna A. Nikitina, Resident, Saint Petersburg State Research Institute of Phthiopulmonology; <http://orcid.org/0000-0002-6910-2983>

Larisa D. Kiryukhina, Cand. Med. Sc., Leading Researcher, Head of Department of Clinical Physiology, Saint Petersburg State University; <http://orcid.org/0000-0001-6550-817X>

Artem N. Narkevich, Dr. Med. Sc., Associate Professor, Dean of Faculty of Medicine, Psychology and Pharmacy, Head of Department of Medical Cybernetics and Computer Science, Head of Laboratory of Medical Cybernetics and Health Management, Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University;
<https://orcid.org/0000-0002-1489-5058>

Evgeniy G. Sokolovich, Dr. Med. Sc., Professor, Deputy Director for Science, Saint Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology; Professor, Chair of Hospital Surgery, Saint Petersburg State University;
<https://orcid.org/0000-0003-4794-0588>

Abstract

Objective: to characterize the relationship between the subtype and volume of pulmonary emphysema on the indicators of lung ventilation and gas exchange functions.

Material and methods. The data of radiation and functional studies were analyzed in 50 patients. The inclusion criteria were chronic obstructive pulmonary disease and emphysema, which had been diagnosed by computed tomography (CT) and confirmed by two radiologists; comprehensive pulmonary function studies, including spirometry and body plethysmography, were performed; diffusion capacity was measured using a single-breath method, involving inhalation of carbon monoxide, and a breath hold. Patients with primary pulmonary emphysema, any history of pulmonary surgery, and emphysema concurrent with other lung X-ray syndromes (consolidation, cavity) were excluded. CT was performed with a 1-mm thick slice and standard scanning parameters on Toshiba tomographs (Japan). Pulmonary function was tested using a MasterScreen Body Diffusion expert diagnostic unit (VIASYS Healthcare, Germany) in accordance with the criteria for correct pulmonary functional tests proposed by a joint group of experts from the American Thoracic Society and the European Respiratory Society. Volumetric analysis of emphysema was performed using the Lung Volume Analysis software package (Toshiba, Japan). In the study, there was a predominance of male patients ($n = 42$ (84%)), mainly in the 61–70 age group.

Results. The isolated type of emphysema was rare: centrilobular and paraseptal emphysemas were seen in 3 (6%) and 2 (4%) patients, respectively. The mixed type of emphysema was detected in 90% of cases; 33 (66%) patients having a predominant centrilobular component constituted a large proportion. It was determined that as the volume of emphysema increased, the patency of the airways worsened, the static pulmonary volumes increased, the lungs were hyperinflated, pulmonary gas exchange worsened, the bronchial resistance slightly increased during calm breathing. No statistically significant results were found from the point of view of correlations between the volume of emphysema and other parameters of pulmonary function.

Conclusion. An increase in the volume of emphysema deteriorates pulmonary function; the greatest contribution to the overall picture is made by the patients with a mixed type of emphysema with a predominance of the centrilobular component.

Keywords: chronic obstructive pulmonary disease; emphysema; pulmonary function; artificial intelligence.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Author contributions

Nadezhda A. Griva – development of the concept and design of the investigation, data collection and analysis, preparation of the manuscript;

Pavel V. Gavrilov – development of the concept and design of the investigation, data collection and analysis, preparation of the manuscript;

Inna A. Nikitina – data collection and analysis, preparation of the manuscript;

Larisa D. Kiryukhina – development of the concept and design of the investigation, data collection and analysis;

Artem N. Narkevich – statistical data processing;

Evgeniy G. Sokolovich – development of the concept and design of the investigation, editing the final version of the article, validation of critical intellectual content

For citation: Griva NA, Gavrilov PV, Nikitina IA, Kiryukhina LD, Narkevich AN, Sokolovich EG. Impact of emphysema subtypes and volume on lung ventilation and gas exchange functions as evidenced by computed tomography. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2021; 102(6): 349–58 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2021-102-6-349-358>

For corresponding: Pavel V. Gavrilov, E-mail: spbniifrentgen@mail.ru

Received July 26, 2021

Revised November 29, 2021

Accepted November 30, 2021

Введение

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) – заболевание, характеризующееся персистирующим ограничением воздушного потока, которое чаще всего прогрессирует и является исходом хронического воспалительного ответа дыхательных путей и легочной ткани на воздействие ингалируемых повреждающих частиц или газов. ХОБЛ представляет собой один из наиболее распространенных заболеваний мирового масштаба с точки зрения как заболеваемости, так и смертности [1].

Анализ смертности от 235 причин среди 20 возрастных групп населения земного шара в 1990 г. и 2010 г., опубликованный в декабре 2012 г. в журнале *Lancet*, демонстрирует, что ХОБЛ поднялась с 4-го на 3-е место в списке причин смерти в мире [2].

По данным экспертов Всемирной организации здравоохранения, эмфизема является составным элементом ХОБЛ. Она характеризуется наличием перманентно расширенных воздушных пространств дистальнее терминальных бронхиол с разрушением альвеолярной стенки.

Диагноз ХОБЛ устанавливается на основании тестирования функции легких со спирометрическими измерениями, определенной Глобальной инициативой по борьбе с хронической обструктивной болезнью легких (Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease, GOLD). Сюда относятся такие показатели, как объем форсированного выдоха в 1-ю секунду (ОФВ₁), форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ) и отношение объема форсированного выдоха в 1-ю секунду к форсированной жизненной емкости (ОФВ₁/ФЖЕЛ) [3].

При пересмотре рекомендаций GOLD от 2017 г. было принято решение оценивать тяжесть ХОБЛ, основываясь преимущественно на частоте и тяжести обострений, а не только лишь на данных функции внешнего дыхания (ФВД), а также рассмотреть возможности других диагностических методов для уточнения картины заболевания. Одним из таких методов является волюмометрический анализ компьютерных томограмм [4].

В большинстве исследований наиболее часто при оценке корреляции между количественной компьютерной томограммой (КТ) и данными функциональных легочных тестов используют показатели ОФВ₁ и ОФВ₁/ФЖЕЛ [5–7].

Относительно небольшое число научных работ посвящено взаимосвязи других параметров вентиляционной и газообменной функций легких с объемами и типом эмфиземы.

Y. Nakano et al. в 2000 г. опубликовали работу о корреляции объема эмфиземы с легочными

функциональными тестами: ОФВ₁, ФЖЕЛ, остаточный объем легких (ООЛ), пиковая скорость выдоха (ПСВ), общая емкость легких (ОЕЛ), диффузионная способность легких по монооксиду углерода (diffusing capacity of the lungs for carbon monoxide, DLCO), объем альвеолярного газа (V_a). Количественная оценка эмфизематозного вздутия (low attenuation area, LAA), выраженная в процентах, достоверно коррелировала с ОФВ₁, ОФВ₁/ФЖЕЛ, ПСВ, ООЛ/ОЕЛ и DLCO/V_a [6].

В исследовании S.E. D'Anna et al. (2013 г.) процент эмфиземы до и после использования бронходилататоров обратно коррелировал с соотношением ОФВ₁/ФЖЕЛ ($r = -0,44$, $p = 0,002$ и $r = -0,39$, $p = 0,005$), DLCO ($r = -0,64$, $p = 0,0003$) и DLCO/V_a ($r = -0,68$, $p < 0,0001$). Слабая положительная корреляция была также обнаружена с ОЕЛ ($r = 0,28$, $p = 0,048$) [7].

Цель – охарактеризовать взаимосвязь подтипа и объема эмфиземы легких на показатели вентиляционной и газообменной функций легких.

Материал и методы

Проанализированы данные лучевых и функциональных методов обследования 50 пациентов. Критериями включения в исследование являлись: наличие установленного диагноза ХОБЛ и эмфизематозных изменений на КТ (подтвержденных двумя рентгенологами) и проведение комплексного исследования ФВД, включающего спирометрию, бодиплетизмографию и измерение диффузионной способности легких по угарному газу методом одиночного вдоха с задержкой дыхания.

Из исследования были исключены пациенты с первичной эмфиземой легких, наличием любых операций на легких в анамнезе и сочетанием эмфиземы с другими рентгенологическими синдромами в легких (консолидации, полости).

Исследования выполняли на томографах Aquilion 32 и Aquilion Prime (Toshiba, Япония) без внутривенного контрастного усиления, с толщиной слоя 1 мм, питч-фактором 0,84, пиковым напряжением 120 кВ. Реконструкцию изображений осуществляли ядром FC07.

Для анализа изображений использовали встроенную программу Lung Volume Analysis (рис. 1). Предварительно вручную определяли точку начала сегментации на уровне бифуркации трахеи. В итоговой таблице показан объем и процент поражения легочной ткани, отдельно для каждого легкого и суммарно.

На первоначальном этапе пороговым значением для анализа повышенной воздушности ткани легких при автоматическом волюмометрическом анализе была величина -950 HU согласно рекомендациям Fleischner Society [8].

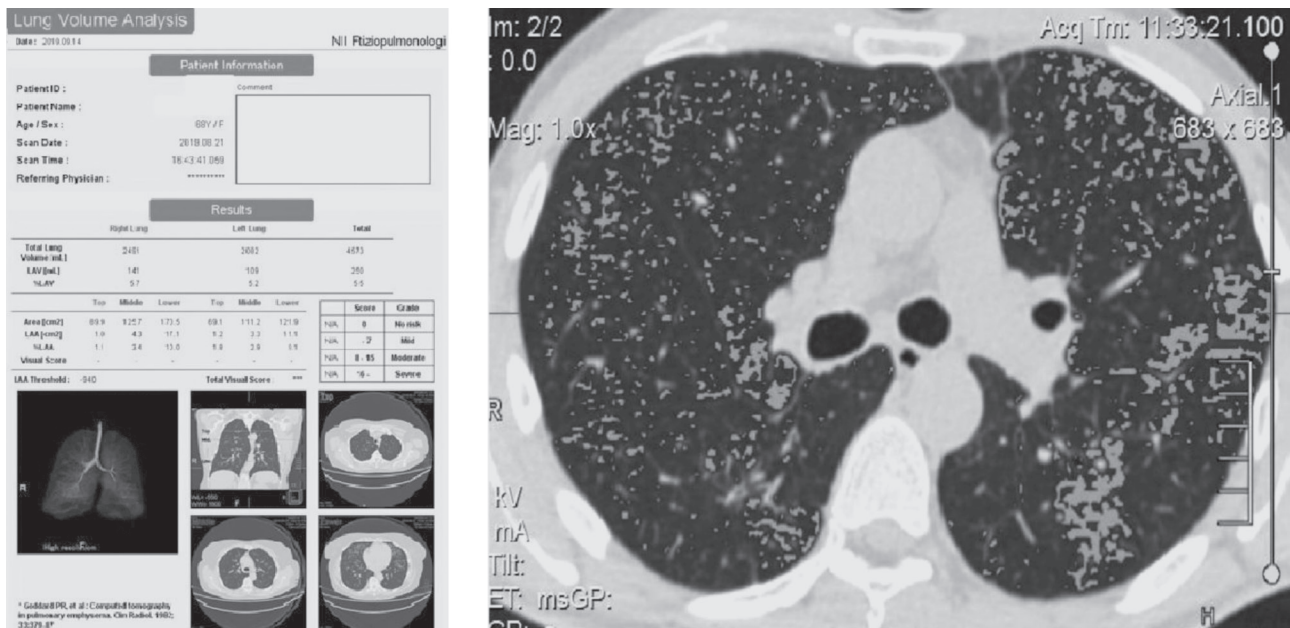


Рис. 1. Пример расчета объема эмфизематозных изменений от общего объема легочной ткани. Lung Volume Analysis. LAA (low attenuation area) или LAV (low attenuation voxels) – процент эмфизематозных изменений

Fig. 1. Example of automated emphysema quantification. Lung Volume Analysis. LAA (low attenuation area) or LAV (low attenuation voxels) – percentage of emphysematous changes

Однако при проведении волюмометрического анализа с последующей проверкой качества сегментации врачом-рентгенологом результаты, более сопоставимые с визуализируемыми человеческим глазом изменениями, были получены при пороговом значении плотности -930 HU [9]. Поэтому они были дополнительно взяты для статистического анализа, итоговые результаты выражены в процентах и литрах.

Исследование функции дыхания проводили на установке экспертной диагностики ФВД Master Screen Body Diffusion (VIASYS Healthcare, Германия) в соответствии с критериями корректности выполнения легочных функциональных тестов, предложенных совместной группой экспертов Американского торакального общества и Европейского респираторного общества.

Схема обследования больных представлена на рисунке 2.

Статистический анализ. Статистический анализ проводили с помощью программы SPSS. Связь между количественными параметрами была оценена с применением критерия Манна–Уитни, результаты сравнения всех четырех типов эмфиземы оценены с использованием критерия Краскела–Уоллиса, попарно между собой – с помощью критерия Манна–Уитни. Корреляция между результатами количественной оценки эмфиземы программами была проанализирована с применением коэффициента Пирсона.

Результаты

В исследование были включены 50 пациентов: 8 женщин (средний возраст $61,4 \pm 9,59$ года, от 54 до 78 лет) и 42 мужчины (средний возраст $61,3 \pm 9,35$, от 42 до 78 лет). В среднем объем пораженной эмфиземой легочной ткани составил $10,5 \pm 12\%$, $ОФВ_1 - 2,26 \pm 1,22$ л, $ОФВ_1/ФЖЕЛ - 3,08 \pm 0,72$. Данные о стаже курения, наличии сопутствующих заболеваний других систем органов отсутствуют в связи с невозможностью ретроспективного сбора анамнеза.

В ходе исследования больные были разделены на четыре группы в зависимости от типа эмфиземы на основании классификации Fleishner Society [8]:

- изолированная центрилобулярная;
- изолированная парасептальная;
- смешанная, с преобладанием центрилобулярного компонента;
- смешанная, с преобладанием парасептального компонента.

Изолированный тип эмфиземы встречается редко. В нашей выборке изолированная центрилобулярная эмфизема присутствовала у 6% больных ($n = 3$), изолированная парасептальная – у 4% ($n = 2$). В 90% случаев выявлен смешанный тип эмфиземы, при этом большую долю (66% пациентов, $n = 33$) составили лица, имеющие преобладающий центрилобулярный компонент.

При статистическом анализе не было выявлено зависимости типа эмфиземы от пола пациента ($p [0;0,002]$).

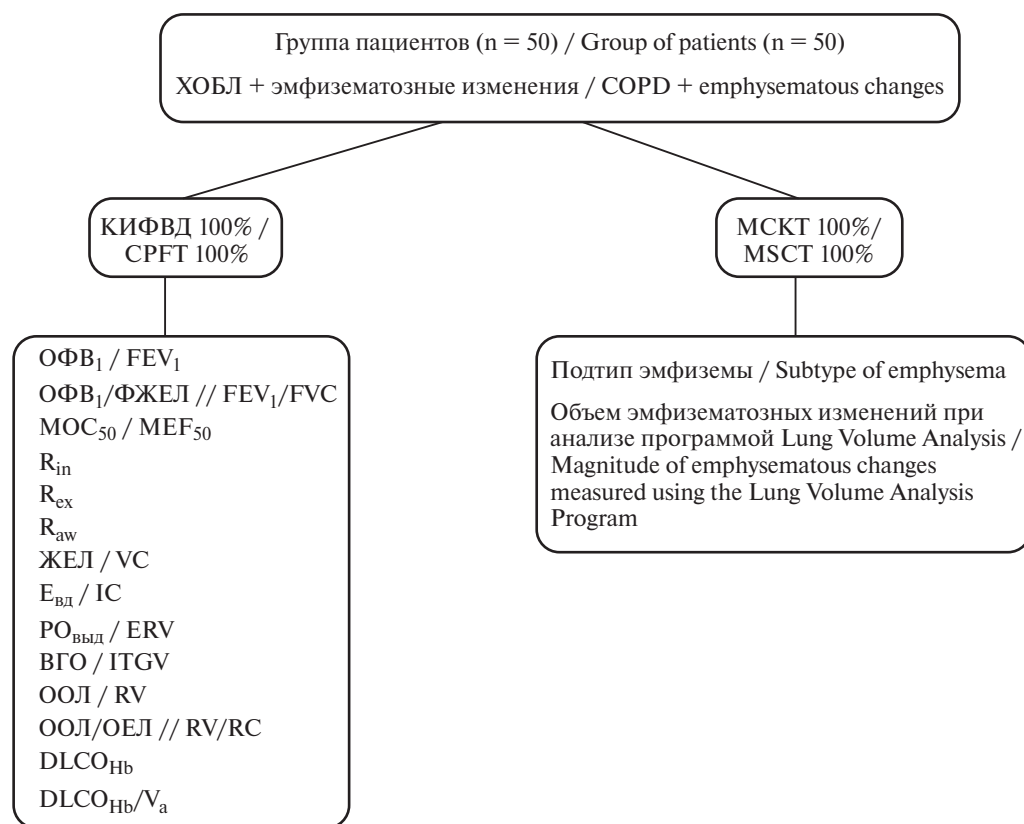


Рис. 2. Схема обследования пациентов.

ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких; КИФВД – комплексное исследование функции внешнего дыхания; ОФВ₁ – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду маневра форсированного выдоха; ОФВ₁/ФЖЕЛ – отношение объема форсированного выдоха за 1-ю секунду к форсированной жизненной емкости легких (индекс Тиффно); МОС₅₀ – максимальная объемная скорость форсированного выдоха на уровне 50% ФЖЕЛ; R_{in} – бронхиальное сопротивление на вдохе; R_{ex} – бронхиальное сопротивление на выдохе; R_{aw} – общее бронхиальное сопротивление; ЖЕЛ – жизненная емкость легких; E_{вд} – емкость вдоха; PO_{ввд} – резервный объем выдоха; ВГО – внутригрудной объем; ООЛ – остаточный объем легких; ООЛ/ОЕЛ – отношение остаточного объема легких к остаточной емкости легких; DLCO_{Hb} – диффузионная способность легких по монооксиду углерода, скорректированная по гемоглобину; DLCO_{Hb}/V_a – отношение диффузионной способности по монооксиду углерода, скорректированной по гемоглобину, к альвеолярному объему

Fig. 2. Patient examination scheme.

COPD – chronic obstructive pulmonary disease; CPFT – complex pulmonary function test; FEV₁ – forced expiratory volume in the first second; FEV₁/FVC – the ratio of the forced expiratory volume in the first second to the forced vital capacity of the lungs (Tiffeneau index); MEF₅₀ – maximum expiratory flow at 50% of FVC; R_{in} – bronchial inspiratory resistance; R_{ex} – bronchial expiratory resistance; R_{aw} – airway resistance; VC – vital capacity; IC – inspiratory capacity; ERV – expiratory reserve volume; ITV – intrathoracic volume; RV – residual volume; RV/RC – the ratio of residual volume to residual capacity; DLCO_{Hb} – diffusing capacity of the lungs for carbon monoxide, adjusted for hemoglobin; DLCO_{Hb}/V_a – the ratio of the diffusing capacity of the lungs for carbon monoxide, adjusted for hemoglobin, to alveolar volume

При корреляционном анализе количественных параметров отмечена взаимосвязь между объемом эмфиземы и ОФВ₁, ОФВ₁/ФЖЕЛ, максимальной объемной скоростью форсированного выдоха на уровне 50% ФЖЕЛ, функциональной остаточной емкостью легких, остаточным объемом, отношением остаточного объема к общей емкости легких, диффузионной способностью по монооксиду углерода, скорректированной по гемоглобину, и ее отношением к альвеолярному объему (табл. 1).

Установлена обратная связь между объемом эмфиземы и ОФВ₁, ОФВ₁/ФЖЕЛ, максимальной объемной скоростью форсированного выдоха на

уровне 50% ФЖЕЛ и отношением диффузионной способности по монооксиду углерода, скорректированной по гемоглобину, к альвеолярному объему. Прямая связь наблюдалась между объемом эмфиземы и функциональной остаточной емкостью легких и отношением остаточного объема к общей емкости легких. Умеренная прямая взаимосвязь определялась с бронхиальным сопротивлением на выдохе. Отмечено, что коэффициент корреляции был выше при пороговой плотности –930 НУ.

Таким образом, с увеличением объема эмфиземы ухудшалась проходимость дыхательных путей (ОФВ₁, ОФВ₁/ФЖЕЛ, МОС₅₀), увеличивались

Оценка взаимосвязи между показателями подтипа и объема эмфиземы с показателями КИВФД (n = 50)

Table 1

Evaluation of the relationship between the subtype and volume of emphysema and CPFT values (n = 50)

Показатель / Index		%LAA –950 HU	LAA –950 HU, л / LAA –950 HU, L	%LAA –930 HU	LAA –930 HU, л / LAA –930 HU, L
ОФВ ₁ / FEV ₁	Коэффициент корреляции	-0,278	-0,18	-0,365*	-0,218
	p	0,05	0,21	0,009	0,128
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ / FEV ₁ /FVC	Коэффициент корреляции	-0,539*	-0,482*	-0,596*	-0,502*
	p	0	0	0	0
МОС ₅₀ / MEF ₅₀	Коэффициент корреляции	-0,330**	-0,249	-0,436*	-0,309**
	p	0,022	0,088	0,002	0,032
R _{in}	Коэффициент корреляции	0,049	-0,019	0,167	0,09
	p	0,736	0,898	0,246	0,532
R _{ex}	Коэффициент корреляции	0,185	0,119	0,280**	0,171
	p	0,2	0,409	0,049	0,235
R _{aw}	Коэффициент корреляции	0,148	0,073	0,245	0,139
	p	0,305	0,614	0,087	0,337
ФОЕ _{плет} / FRC _{pleth}	Коэффициент корреляции	0,428*	0,501*	0,535*	0,619*
	p	0,002	0	0	0
ЖЕЛ / VC	Коэффициент корреляции	-0,074	0,066	-0,123	0,051
	p	0,611	0,647	0,395	0,727
E _{вд} / IC	Коэффициент корреляции	-0,131	0,011	-0,159	-0,006
	p	0,364	0,939	0,27	0,969
РО _{выд} / ERC	Коэффициент корреляции	0,056	0,139	0,004	0,14
	p	0,703	0,34	0,98	0,338
ООЛ / RV	Коэффициент корреляции	0,426*	0,465*	0,574*	0,602*
	p	0,002	0,001	0	0
ООЛ/ОЕЛ // RV/RC	Коэффициент корреляции	0,292**	0,221	0,416*	0,310**
	p	0,04	0,123	0,003	0,028
DLCO _{Нб}	Коэффициент корреляции	-0,366*	-0,258	-0,365*	-0,22
	p	0,009	0,071	0,009	0,125
DLCO _{Нб} /V _a	Коэффициент корреляции	-0,516*	-0,489*	-0,526*	-0,473*
	p	0	0	0	0,001

* Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

** Корреляция значима на уровне 0,05 (двухсторонняя).

ФОЕ_{плет} – функциональная остаточная емкость, измеренная с помощью плетизмографии.

* The correlation is significant at 0.01 (bilateral).

** The correlation is significant at 0.05 (bilateral).

FRC_{pleth} – functional residual capacity measured by plethysmography.

Оценка взаимосвязи между результатами количественного анализа эмфиземы пациентов со смешанной эмфиземой с преобладающим центрилобулярным компонентом и показателями КИВФД (n = 33)

Table 2

Evaluation of the relationship between the results of quantitative analysis of emphysema in patients with mixed emphysema with a predominant centrilobular component and CPFT values (n = 33)

Показатель / Index		%LAA –950 HU	LAA–950 HU, л	%LAA –930 HU%	LAA–930 HU, л
ОФВ ₁ / FEV ₁	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	–0,388**	–0,301	–0,446*	–0,303
	ρ	0,025	0,089	0,009	0,086
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ // FEV ₁ /FVC	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	–0,638*	–0,603*	–0,682*	–0,573*
	ρ	0,000	0,000	0,000	0,000
МОС ₅₀ / MEF ₅₀	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	–0,451**	–0,383**	–0,528*	–0,398**
	ρ	0,011	0,034	0,002	0,027
R _{in}	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	0,058	0,037	0,154	0,111
	ρ	0,751	0,837	0,392	0,537
R _{ex}	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	0,207	0,168	0,285	0,163
	ρ	0,247	0,351	0,108	0,366
R _{aw}	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	0,130	0,087	0,210	0,106
	ρ	0,470	0,630	0,241	0,559
ФОЕ _{плет} / FRC _{pleth}	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	0,405**	0,498*	0,467*	0,521*
	Знач. (двухсторонняя) / Significance (bilateral)	0,020	0,003	0,006	0,002
ЖЕЛ / FVC	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	–0,138	–0,011	–0,171	–0,009
	ρ	0,442	0,954	0,343	0,959
E _{вд} / IC	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	–0,189	–0,066	–0,197	–0,049
	ρ	0,292	0,715	0,272	0,786
PO _{выд} / ERC	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	0,065	0,170	0,028	0,170
	ρ	0,724	0,351	0,879	0,354
ООЛ / RV	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	0,447*	0,479*	0,556*	0,549*
	ρ	0,009	0,005	0,001	0,001
ООЛ/ОЕЛ // RV/RC	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	0,385**	0,306	0,466**	0,335
	ρ	0,027	0,083	0,006	0,057
DLCO _{Нб}	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	–0,559*	–0,426**	–0,499*	–0,315
	ρ	0,001	0,014	0,003	0,074
DLCO _{Нб} /V _a	Коэффициент корреляции / Correlation coefficient	–0,724*	–0,659*	–0,654*	–0,566*
	ρ	0,000	0,000	0,000	0,001

* Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

** Корреляция значима на уровне 0,05 (двухсторонняя).

* The correlation is significant at 0.01 (bilateral).

** The correlation is significant at 0.05 (bilateral).

функциональная остаточная емкость легких (ФОЕ), гиперинфляция легких (ООЛ, ООЛ/ОЕЛ), ухудшался легочный газообмен ($DLCO_{Hb}$, $DLCO_{Hb}/V_a$), незначительно увеличивалось бронхиальное сопротивление при спокойном дыхании (R_{aw}).

Анализ корреляционных связей объема эмфиземы с другими параметрами функции внешнего дыхания статистически значимых результатов не выявил ($p [0;0,002]$).

При корреляционном анализе количественных параметров у пациентов мужского пола наблюдалась аналогичная взаимосвязь (коэффициенты корреляции: $ОФВ_1$ $-0,443$, $ОФВ_1/ФЖЕЛ$ $-0,639$, $МОС_{50}$ $-0,498$, $ВГО$ $0,586$, $ООЛ$ $0,556$, $ООЛ/ОЕЛ$ $0,463$, $DLCO_{Hb}/V_a$ $0,490$). Однако также отмечено наличие умеренной прямой связи между объемом эмфиземы и бронхиальным сопротивлением на выдохе и общим бронхиальным сопротивлением (коэффициенты корреляции $0,344$ и $0,326$ соответственно). Коэффициент корреляции был выше при пороговой плотности -930 HU.

При корреляционном анализе количественных параметров у пациенток женского пола определялась слабая прямая взаимосвязь только между объемом эмфиземы и внутригрудным объемом, остаточным объемом (коэффициент корреляции $0,762$ в обоих случаях) и слабая обратная связь с диффузионной способностью по монооксиду углерода, скорректированной по гемоглобину, и ее отношением к альвеолярному объему (коэффициенты корреляции: $DLCO_{Hb}$ $-0,738$, $DLCO_{Hb}/V_a$ $-0,786$). Коэффициент корреляции также был выше при пороговой плотности -930 HU.

Таким образом, при увеличении объема эмфиземы происходит увеличение ВГО, гиперинфляции легких (ООЛ) и ухудшение легочного газообмена ($DLCO_{Hb}$, $DLCO_{Hb}/V_a$).

Результаты корреляционного анализа количественных показателей больных с изолированными типами эмфиземы не могут считаться достоверными в связи с очень маленьким размером выборки ($n = 5$).

При корреляционном анализе количественных параметров у пациентов со смешанной эмфиземой с преобладающим центрилобулярным компонентом (табл. 2) наблюдалась аналогичная корреляция объема эмфиземы и $ОФВ_1$, $ОФВ_1/ФЖЕЛ$, мгновенной объемной скорости после вдоха 50% ФЖЕЛ, внутригрудного объема, остаточного объема, отношения остаточного объема к общей емкости легких, диффузионной способности по монооксиду углерода, скорректированной по гемоглобину, и ее отношения к альвеолярному объему. То есть с увеличением объема эмфиземы ухудшалась проходимость дыхательных путей ($ОФВ_1$, $ОФВ_1/ФЖЕЛ$, $МОС_{50}$), увеличивались статические легочные объемы (ВГО), гиперинфляция легких

(ООЛ, ООЛ/ОЕЛ) и ухудшался легочный газообмен ($DLCO_{Hb}$, $DLCO_{Hb}/V_a$).

При корреляционном анализе количественных параметров у пациентов со смешанной эмфиземой с преобладающим парасептальным компонентом не выявлено достоверной взаимосвязи между параметрами функции внешнего дыхания и объемом эмфиземы.

Обсуждение

Несмотря на то что большинство руководств выделяют несколько фенотипов эмфизематозного поражения, изолированное выявление того или иного подтипа встречается редко [8, 10–11]. Наиболее часто в нашем исследовании отмечены смешанные изменения с преобладанием либо центрилобулярной, либо парасептальной эмфиземы.

Также, хотя классическим определением эмфиземы согласно рекомендациям Fleischner Society является повышение воздушности более -950 HU, в нашей работе результаты, наиболее сопоставимые с визуализируемыми человеческим глазом изменениями, и более убедительная взаимосвязь с параметрами функции внешнего дыхания определялись при пороговом значении плотности легочной паренхимы -930 HU, выраженном в процентах.

Возможно, это связано с настройками программ автоматической обработки под конкретные параметры сканирования томографами различных производителей. Многие авторы указывают на зависимость результатов анализа от технических параметров выполнения КТ [12–15].

В нашем исследовании было выявлено ухудшение проходимости дыхательных путей или легочного газообмена, увеличение гиперинфляции, бронхиального сопротивления при спокойном дыхании (незначительно) и статических легочных объемов при увеличении объема эмфиземы, что коррелирует с результатами аналогичных работ, описанными в литературе [5–7, 16, 17].

Следует отметить, что наибольший вклад в ухудшение показателей функции внешнего дыхания наблюдался при преобладании центрилобулярного компонента, а у пациентов с преобладанием парасептальной эмфиземы не выявлено достоверной взаимосвязи между параметрами функции внешнего дыхания и объемом эмфиземы.

Сведений о наличии существенных отличий по объему эмфизематозных изменений и его корреляции с данными ФВД между мужчинами и женщинами в литературе не представлено. В нашем исследовании мужчины показали параметры корреляции, сходные с общими, что связано с преобладанием этой группы пациентов в общей выборке.

Заключение

В данном исследовании представлено особое выделение типов эмфиземы с оценкой корреляции основных параметров функции внешнего дыхания и данных автоматического анализа

объема эмфиземы. Как и ожидалось, эта корреляция довольно высока. Причем преобладание центрилобулярного компонента более выражено влияет на легочный газообмен.

Литература [References]

1. Хроническая обструктивная болезнь легких. Клинические рекомендации. Российское респираторное общество. URL: https://spulmo.ru/upload/federal_klinicheskie_rekomendaciy_hobl.pdf (дата обращения 03.09.2021). [Chronic obstructive pulmonary disease. Clinical guidelines. Russian Respiratory Society. Available at: https://spulmo.ru/upload/federal_klinicheskie_rekomendaciy_hobl.pdf (in Russ.) (accessed 03.09.2021).]
2. Диагностика и лечение пациентов с хронической обструктивной болезнью легких и артериальной гипертензией. Национальные клинические рекомендации. URL: https://www.rnmot.ru/public/uploads/RNMOT/clinical/2017/%D0%A5%D0%9E%D0%91%D0%9B%20%D0%B8%20%D0%90%D0%93%20%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D1%8F%D0%B2%D0%B8%D0%BD_250618.pdf (дата обращения 03.09.2021). [Diagnosis and treatment of patients with chronic obstructive pulmonary disease and arterial hypertension. National clinical guidelines. Available at: https://www.rnmot.ru/public/uploads/RNMOT/clinical/2017/%D0%A5%D0%9E%D0%91%D0%9B%20%D0%B8%20%D0%90%D0%93%20%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D1%8F%D0%B2%D0%B8%D0%BD_250618.pdf (in Russ.) (accessed 03.09.2021).]
3. Vogelmeier CF, Criner GJ, Martinez FJ, et al. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive lung disease 2017 report: GOLD executive summary. *Am J Respir Crit Care Med.* 2017; 195(5): 557–582. <http://doi.org/10.1164/rccm.201701-0218PP>.
4. Mirza S, Clay RD, Koslow MA, Scanlon PD. COPD guidelines: a review of the 2018 GOLD report. *Mayo Clin Proc.* 2018; 93(10): 1488–502. <http://doi.org/10.1016/j.mayocp.2018.05.026>.
5. Fischer AM, Varga-Szemes A, van Assen M, et al. Comparison of artificial intelligence-based fully automatic chest CT emphysema quantification to pulmonary function testing. *Am J Roentgenol.* 2020; 214(5): 1065–71. <http://doi.org/10.2214/AJR.19.21572>.
6. Nakano Y, Muro S, Sakai H, et al. Computed tomographic measurements of airway dimensions and emphysema in smokers: correlation with lung function. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000; 162(3 Pt 1): 1102–8. <http://doi.org/10.1164/ajrccm.162.3.9907120>.
7. De Boer E, Nijholt IM, Jansen S, et al. Optimization of pulmonary emphysema quantification on CT scans of COPD patients using hybrid iterative and post processing techniques: correlation with pulmonary function tests. *Insights Imaging.* 2019; 10(1): 102. <http://doi.org/10.1186/s13244-019-0776-9>.
8. Lynch DA, Moore CM, Wilson C, et al. CT-based visual classification of emphysema: association with mortality in the COPD gene Study. *Radiology.* 2018; 288(3): 859–66. <http://doi.org/10.1148/radiol.2018172294>.
9. Гаврилов П.В., Грива Н.А., Торкатюк Е.А. Оценка воспроизводимости программного анализа объема эмфиземы: сравнительный анализ результатов при оценке различными программами продуктами. *Лучевая диагностика и терапия.* 2021; 11(4): 37–43. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-4-37-43>. [Gavrilov PV, Griva NA, Torkatyuk EA. Evaluation of the interchangeability of volumetric lung emphysema quantification: comparative analysis of the evaluation results using different software products. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy.* 2021; 11(4): 37–43 (in Russ.). <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-4-37-43>.]
10. Шейх Ж.В., Николаев Э.В., Тюрин И.Е. и др. Хроническая обструктивная болезнь легких с эмфиземой и гигантскими буллами у курильщика. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2018; 99(4): 204–10. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2018-99-4-204-210>. [Sheykh ZV, Nikolaev EV, Tyurin IE, et al. Chronic obstructive pulmonary disease with emphysema and giant bullae in a smoker. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine.* 2018; 99(4): 204–10 (in Russ.). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2018-99-4-204-210>.]
11. Горбунов Н.А., Лаптев В.Я. Комплексная лучевая диагностика хронической обструктивной болезни легких. *Пульмонология.* 2020; 6: 95–100. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2008-0-6-95-100>. [Gorbunov NA, Laptev VY. Combined radiological diagnosis of chronic obstructive pulmonary disease. *Pulmonologiya.* 2020; 6: 95–100 (in Russ.). <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2008-0-6-95-100>.]
12. Willemink MJ, de Jong PA, Leiner T, et al. Schilham Iterative reconstruction techniques for computed tomography. Part 1: technical principles. *Eur Radiol.* 2013; 23(6): 1623–31. <https://doi.org/10.1007/s00330-012-2765-y>.
13. den Harder AM, de Boer E, Lagerweij SJ, et al. Emphysema quantification using chest CT: influence of radiation dose reduction and reconstruction technique. *Eur Radiol Exp.* 2018; 2: 30. <https://doi.org/10.1186/s41747-018-0064-3>.
14. Baumueller S, Winklehner A, Karlo C, et al. Low-dose CT of the lung: potential value of iterative reconstructions. *Eur Radiol.* 2012; 22(12): 2597–606. <https://doi.org/10.1007/s00330-012-2524-0>.
15. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, et al. Aerts Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer.* 2018; 18(8): 500–10. <https://doi.org/10.1038/s41568-018-0016-5>.
16. Feldhaus FW, Theilig DC, Hubner RH, et al. Quantitative CT analysis in patients with pulmonary emphysema: is lung function influenced by concomitant unspecific pulmonary fibrosis? *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2019; 14: 1583–93. <https://doi.org/10.2147/COPD.S204007>.
17. Šileikienė V, Urbonas M, Matačiūnas M, Norkūnienė J, et al. Relationships between pulmonary function test parameters and quantitative computed tomography measurements of emphysema in subjects with chronic obstructive pulmonary disease. *Acta Med Litu.* 2017; 24(4): 209–18. <https://doi.org/10.6001/actamedica.v24i4.3616>.