

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ЛЕГКИХ У БОЛЬНЫХ ХРОНИЧЕСКОЙ ОБСТРУКТИВНОЙ БОЛЕЗНЬЮ ЛЕГКИХ

**А.В. Колсанов**, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой оперативной хирургии и клинической анатомии с курсом инновационных технологий;

**П.М. Зельтер**, ассистент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом медицинской информатики;

**А.В. Капишников**, д. м. н., заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии с курсом медицинской информатики;

**С.С. Чаплыгин**, к. м. н., старший преподаватель кафедры оперативной хирургии и клинической анатомии с курсом инновационных технологий

ГБОУ ВПО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России,  
ул. Чапаевская, 89, Самара, 443001, Российская Федерация

## EFFICIENCY OF QUANTITATIVE ANALYSIS OF LUNG COMPUTED TOMOGRAPHY FINDINGS IN PATIENTS WITH CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE

**A.V. Kolsanov**, MD, PhD, DSc, Professor, Head of Department of Operative Surgery and Clinical Anatomy Course with Innovative Technologies;

**P.M. Zel'ter**, Assistant of Department of Radiology and Radiotherapy with a Course of Medical Informatics;

**A.V. Kapishnikov**, MD, PhD, DSc, Head of Department of Radiology and Radiotherapy with a Course of Medical Informatics;

**S.S. Chaplygin**, MD, PhD, Senior Lecturer of Department of Operative Surgery and Clinical Anatomy Course with Innovative Technologies

Samara State Medical University, Ministry of Health of the Russia,  
ul. Chapaevskaya, 89, Samara, 443001, Russian Federation

**Цель исследования** – оценить эффективность выявления эмфиземы при анализе томограмм легких с помощью программы «Автоплан» и сопоставить данные количественного анализа и клинические показатели.

**Материал и методы.** Обследованы 60 больных хронической обструктивной болезнью легких, диагноз был подтвержден с помощью оценки функции внешнего дыхания, всем больным проведена инспираторно-экспираторная компьютерная томография на 32-рядном томографе с последующей постпроцессинговой обработкой в системе «Автоплан». Особенностями системы были плавающее пороговое значение, построение гистограммы, возможность сохранения отчета и полигональной модели. Эхокардиография выполнялась для оценки состояния правых отделов сердца и уровня давления в легочной артерии.

**Результаты.** Получаемые числовые показатели оценки плотности легочной ткани (средняя плотность легочной ткани и индекс эмфиземы) продемонстрировали высокую эффективность (чувствительность до 78%, специфичность до 81%) в выявлении эмфиземы. Была доказана зависимость между данными количественного анализа и показателями функции внешнего дыхания. При анализе данных эхокардиографии выявлено влияние индекса эмфиземы на толщину стенки правого желудочка в систолу и диастолу (коэффициент Спирмена от  $-0,56$  до  $-0,66$ ).

**Заключение.** Анализ плотностных характеристик легочной ткани при компьютерной томографии позволяет врачу получать объективные числовые показатели, которые могут влиять

**Objective:** to evaluate the efficiency of detection of emphysema in the analysis of lung computed tomography (CT) images using the "Autoplan" program and to compare the data of quantitative analysis and clinical indicators.

**Material and methods.** Sixty patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) were examined; the diagnosis was confirmed by external respiratory function evaluation; all the patients underwent inspiratory-expiratory CT using a 32-row multidetector CT scanner, followed by postprocessing in the "Autoplan" system. The features of the system were a floating threshold value, constructing a histogram, and the possibility of preserving a report and polygonal models. Echocardiography was performed to evaluate the right heart and to estimate pulmonary arterial pressure.

**Results.** The obtained numerical values of lung density assessment (mean lung density and emphysema index) showed a high efficiency (a sensitivity of as high as 78%, a specificity of as high as 81%) in detecting emphysema. There was evidence for a relationship between the data of quantitative analysis and the values of external respiration function. Analysis of echocardiographic findings revealed that there was a relationship between emphysema index and systolic and diastolic right ventricle wall thickness (Spearman's rank correlation coefficient from  $-0,56$  to  $-0,66$ ).

**Conclusion.** Thus, analysis of the lung density CT characteristics provides a physician with objective numerical values, which affect the progression of obstructive changes in patients and the development of signs of chronic cor pulmonale.

**Index terms:** computed tomography; chronic obstructive pulmonary disease; emphysema; quantitative analysis.

на прогрессирующие обструктивные изменения у больных и развитие признаков хронического легочного сердца.

**Ключевые слова:** компьютерная томография; хроническая обструктивная болезнь легких; эмфизема; количественный анализ.

**Для цитирования:** Колсанов А.В., Зельтер П.М., Капишников А.В., Чаплыгин С.С. Эффективность применения количественного анализа данных компьютерной томографии легких у больных хронической обструктивной болезнью легких. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2017; 98 (1): 17–22. DOI: 10.20862/0042-4676-2017-98-1-17-22

**Для корреспонденции:** Зельтер Павел Михайлович; E-mail: pzelter@mail.ru

**For citation:** Kolsanov A.V., Zel'ter P.M., Kapishnikov A.V., Chaplygin S.S. Efficiency of quantitative analysis of lung computed tomography findings in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii (Russian Journal of Radiology)*. 2017; 98 (1): 17–22 (in Russ.). DOI: 10.20862/0042-4676-2017-98-1-17-22

**For correspondence:** Pavel M. Zel'ter; E-mail: pzelter@mail.ru

**Information about authors:**

Kolsanov A.V., <http://orcid.org/0000-0002-4144-7090>

Zel'ter P.M., <http://orcid.org/0000-0003-1346-5942>

Kapishnikov A.V., <http://orcid.org/0000-0002-6858-372X>

Chaplygin S.S., <http://orcid.org/0000-0002-9027-6670>

**Acknowledgements.** The study was made according to contract with Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation № 14411.2049999.19.013 07.04.2014.

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

Received 17 May 2016

Accepted 9 August 2016

**Введение**

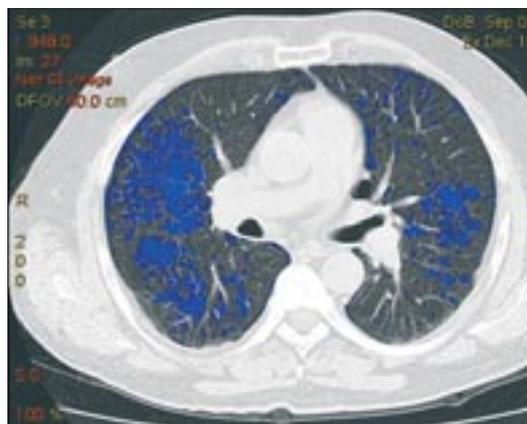
Компьютерная томография является ведущим методом для оценки морфологических изменений легочной ткани и бронхиального дерева [1]. Метод активно используется при обследовании больных хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ). При этом наибольший объем информации способен предоставить инспираторно-экспираторный вариант компьютерной томографии легких, когда при исследовании на выдохе могут быть визуализированы так называемые «воздушные ловушки», свидетельствующие об обструкции терминальных бронхов и бронхиол [2, 3]. Наиболее частым признаком ХОБЛ на инспираторной фазе является эмфизема, которая характеризуется наличием перманентно расширенных воздушных пространств дистальнее терминальных бронхиол с разру-

шением альвеолярной стенки [4]. На КТ-сканах эмфизема проявляется фокальными участками или областями низкой плотности, как правило, без видимых стенок.

В настоящее время приложения для оценки эмфиземы доступны как в расширенных версиях рабочих станций компьютерных томографов, так и в виде отдельных программ. Алгоритм обработки компьютерных томо-

грамм различными инструментами включает сегментацию легочной ткани, то есть разграничение ее от мягких тканей, средостения и сосудов, затем картирование зон с плотностью ниже порогового значения (рис. 1).

Многочисленные приложения для анализа легочной паренхимы обладают различными функциями, анализ их представлен в таблице 1.



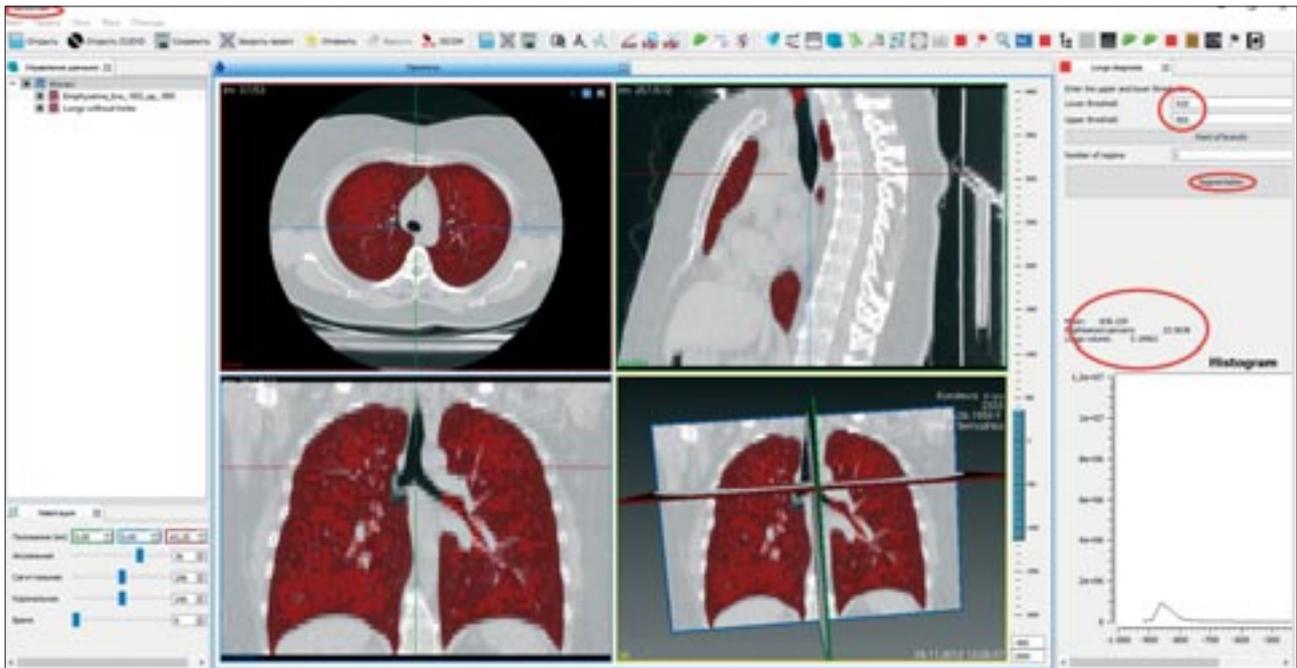
**Рис. 1.** Компьютерная томограмма легких, аксиальная плоскость. Центрилобулярная эмфизема в обоих легких выделена синим цветом

Таблица 1

**Функции специализированных клинических приложений для анализа легочной ткани при КТ**

Функция	«Автоплан»	Thoracic VCAR	Syngo Pulmo	CT lung density
Сегментация легочной ткани	+	+	+	+
Выделение эмфизематозной ткани	+	+	+	+
Подсчет MLD	+	–	+	–
Полутоновое цветовое картирование	+	+	+	–
Гистограмма распределения по плотности	+	–	+	–
Анализ срезов толщиной 5 мм	+	–	–	–
Сохранение полигональной модели	+	–	–	–
Изменение порогового значения эмфиземы	+	+	–	–
Отчет в виде таблицы с возможностью вставки в протокол	+	–	–	+

Примечание. MLD – mean lung density – средняя плотность легочной ткани.



**Рис. 2.** Интерфейс программы «Автоплан». Компьютерная томография легких, мультипланарная реконструкция. Легочная ткань и эмфизема картированы разными оттенками красного. В правой части экрана представлена гистограмма распределения плотности, полученные показатели и выбранные пользователем границы окна плотности

Как видно из таблицы, приложения по количественному анализу обладают рядом функций, которые используются рентгенологами с разной частотой. Необходимость проверки практической значимости и надежности инструментария программы «Автоплан» определила актуальность данного исследования.

Цель нашего исследования – оценить эффективность выявления эмфиземы при анализе томограмм легких в системе «Автоплан» и сопоставить данные количественного анализа и клинические показатели у больных ХОБЛ.

### Материал и методы

Объектом исследования стали 60 больных ХОБЛ. Были проведены оценка функции внешнего дыхания, инспираторно-экспираторная КТ на 32-срезовом компьютерном томографе Aquilion 32 (Toshiba, Япония) с последующей загрузкой данных в систему «Автоплан» и эхокардиография для оценки правых отделов сердца. Статистический анализ данных выполнялся с использованием программы Statistica 10 (Statsoft).

В Самарском государственном медицинском университете разработка приложений для врачей разных специальностей ведется в центре прорывных исследований «Информационные технологии в медицине», при этом написание кода программы для анализа компьютерных томограмм легких осуществляется в рамках проекта «Автоплан» по созданию системы полуавтоматического планирования оперативного вмешательства и навигации, с использованием технологии дополненной реальности. При обработке томограмм проводится выделение эмфиземы на мультипланарной и 3D-реконструкции, с изменением порогового значения плотности и анализом срезов с большой толщиной. Изменение порогового значения важно с точки зрения развития технологии: точный порог в настоящий момент является дискуссионным вопросом [5]. Интерфейс представлен на рисунке 2.

### Результаты

На первом этапе был выполнен ROC-анализ с целью оценки

эффективности программы для выявления и картирования эмфиземы. Учитывая нецелесообразность проведения биопсии у пациентов, в качестве референтного теста использован визуальный анализ компьютерных томограмм. Такой анализ представляет собой достаточно точную методику по выявлению эмфиземы, но он не отвечает на вопрос о распространенности процесса, а лишь указывает на наличие эмфиземы [1]. При оценке обоснованности выбора в качестве референтного теста визуального анализа томографических изображений проведен анализ согласованности мнения экспертов по вопросу наличия эмфиземы. В качестве экспертов выступали три врача-рентгенолога, имеющие 5-, 10- и 30-летний опыт работы в торакальной радиологии. В случае расхождения мнения между первыми двумя экспертами решающее значение приобретало мнение наиболее опытного эксперта. Согласно методике Кохена, были посчитаны  $P_0$  (общая согласованность исследователей) и  $P_e$  (ожидаемая согласованность)

Данные диагностической информативности тестов

Показатель	Чувствительность, %	Специфичность, %	Площадь под кривой
MLD <sub>i</sub>	66,7	83,9	0,792
MLD <sub>e</sub>	77,8	80,6	0,864
ES <sub>i</sub>	55,6	80,6	0,638
ES <sub>e</sub>	56,6	96,8	0,742

Примечание. ES – emphysema score (индекс эмфиземы).

[6]. Они составили 0,98 и 0,61 соответственно. Критерий Кохена составил 0,95, что оценивается как высокая согласованность между исследователями. Далее получаемые числовые показатели сравнивались по эффективности выявления эмфиземы с согласованным экспертным заключением.

Данные по информативности показателей на вдохе (inspiratory – i) и выдохе (expiratory – e) представлены в таблице 2.

Получены высокие показатели чувствительности, специфичности и площади под кривой, наибольшие для MLD на экспираторной фазе (чувствительность 78%, специфичность 81%) (рис. 3).

Далее был проведен корреляционный анализ, в результате которого выявлена взаимосвязь получаемых числовых показателей с толщиной стенки правого желудочка в диастолу, то есть одним из факторов, определяющих развитие хронического легочного сердца (рис. 4).

Была подтверждена зависимость показателей функции внешнего дыхания от индекса эмфиземы и средней плотности легочной ткани (табл. 3).

В качестве иллюстрации приводим результаты обследования пациента М., 65 лет, который обратился в Клинику СамГМУ с жалобами на кашель с трудноотделяемой мокротой, преимущественно по утрам, периодическое повышение температуры. В результате оценки функции внешнего дыхания был установлен диагноз ХОБЛ, ОФВ1 составил 0,54, индекс Тифно 0,51.

При компьютерной томографии (рис. 5) были выявлены обширные зоны парасептальной и центрилобулярной эмфиземы преимущественно в верхних отделах, крупные буллы в области верхушек.

После применения постпроцессинговой обработки в программе «Автоплан» проведено картирование, индекс эмфиземы составил 36%, средняя плотность легочной ткани -975 HU (рис. 6).

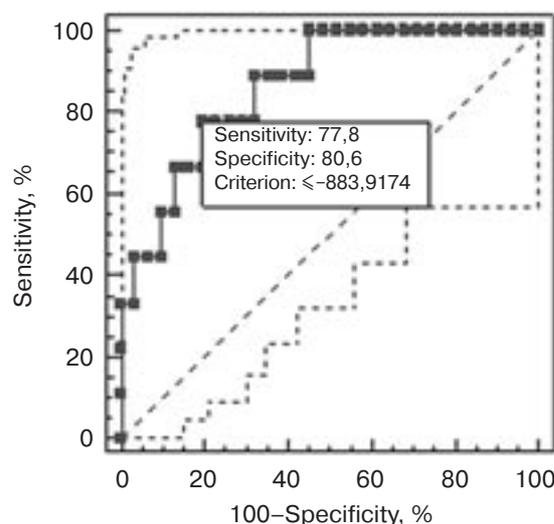


Рис. 3. ROC-кривая информативности средней плотности легочной ткани, установленной системой «Автоплан» на выдохе при обнаружении эмфиземы

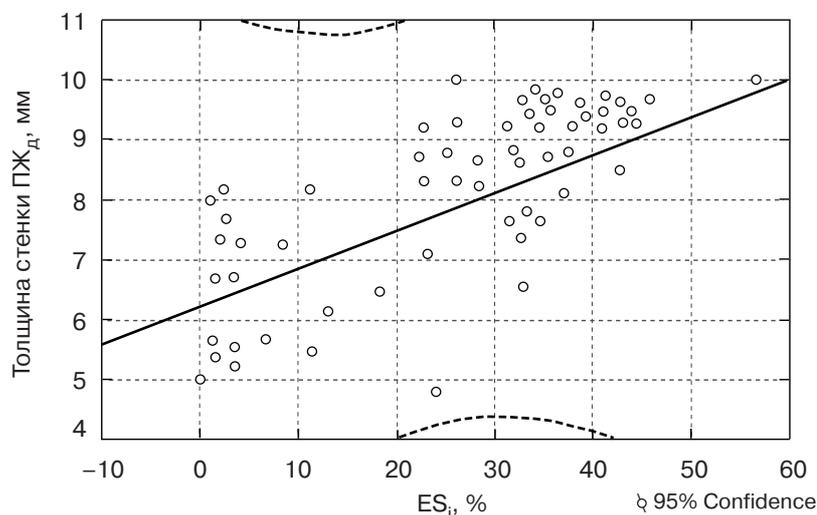


Рис. 4. Распределение больных в зависимости от ES<sub>i</sub> и толщины стенки правого желудочка в диастолу. Определяется увеличение толщины стенки правого желудочка при нарастании эмфиземы

Анализ компьютерных томограмм легких позволил получить объективные данные о распространённости эмфиземы, отнести пациента к переходной группе

риска смерти согласно методике А.К. Boutou [7]. Количественные показатели были отражены в протоколе и будут использованы при контрольном исследова-

Таблица 3

**Корреляция плотностных характеристик,  
данных спирометрии и эхокардиографии**

Показатель	Коэффициент Спирмена
Средняя плотность легочной ткани на выдохе и ФЖЕЛ	0,68
Средняя плотность легочной ткани на выдохе и ОФВ1	0,77
Средняя плотность легочной ткани на выдохе и ОФВ1, % от нормы	0,61
Средняя плотность легочной ткани на выдохе и индекс Тиффно	0,67
Индекс эмфиземы на вдохе и толщина стенки ПЖ	0,67
Индекс эмфиземы на выдохе и ОФВ1	-0,62

Примечание. ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; ОФВ1 – объем форсированного выдоха за первую секунду.

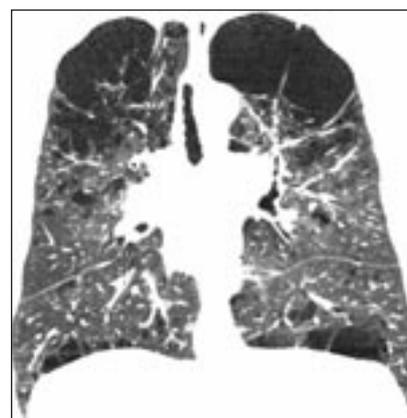
нии для оценки прогрессирования эмфиземы.

Последующее проведение эхокардиографии позволило установить гипертрофию и дилатацию правого желудочка, утолщение его стенки и гипертензию в легочной артерии, что подтвердило наличие хронического легочного сердца.

### Обсуждение

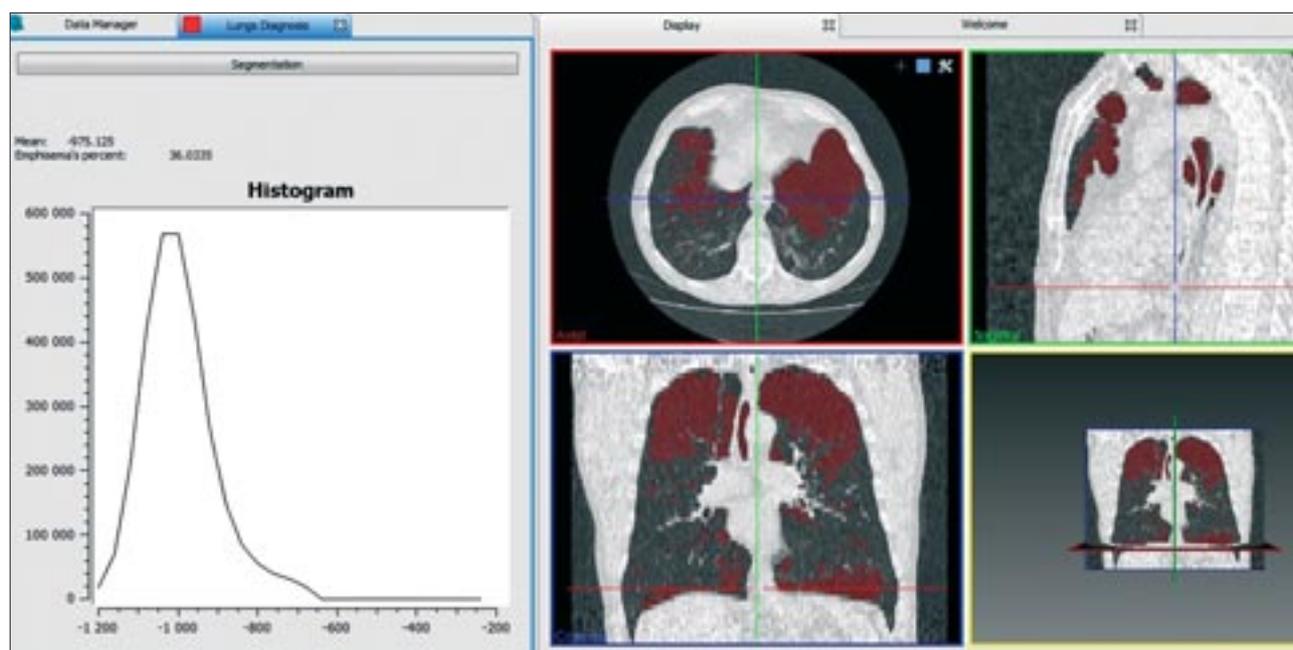
Попытки провести количественную оценку эмфиземы предпринимались еще с 1980-х годов [8]. С тех пор появилось множество инструментов для решения этой задачи, как встроенных в рабочие станции, так и отдельных программ. С изменением техни-

ки компьютерной томографии постепенно уточняется пороговое значение плотности для эмфиземы. Так, в 1995 г. был установлен порог  $-900$  HU, а в настоящее время стандартным значением является  $-950$  HU [5]. Интерес исследователей и разработчиков к числовым показателям обусловлен тем, что они объективизируют заключение врача-рентгенолога и позволяют оценить динамику прогрессирования эмфиземы при контрольных исследованиях. Многочисленные работы продемонстрировали влияние числовых показателей на ОФВ1, ФЖЕЛ и индекс Тиффно у больных ХОБЛ. В 2014 г. было проведено масштабное исследо-



**Рис. 5.** Компьютерная томограмма легких, коронарная плоскость. Инспираторная фаза. Определяются крупные буллы в верхних отделах с обеих сторон. Визуализируются участки парасептальной и центрилобулярной эмфиземы в верхних и нижних отделах. Стенки бронхов диффузно утолщены, с формированием симптома «трамвайных рельсов»

вание с анализом факторов, влияющих на смертность, в большой группе больных ХОБЛ. После более чем 10-летнего наблюдения за больными было принято решение использовать индекс эмфиземы в качестве фактора для стратификации риска смерти в ближайшие 5 лет. При ES более 65% больного относили



**Рис. 6.** Скриншот обработки в программе «Автоплан». Эмфизема картирована красным цветом

к группе высокого риска смертности, при средних значениях (от 30 до 65%) учитывалась функциональная остаточная емкость легких [7].

Количество проведенных работ, посвященных полуавтоматическому анализу компьютерных томограмм легких у больных ХОБЛ, позволило в 2012 г. выполнить метаанализ, в котором определяли наиболее статистически значимые показатели КТ и оценки функции внешнего дыхания, коррелирующие между собой. Доказано, что показатели, наиболее заслуживающие доверия врача, следующие: средняя плотность легочной ткани (MLD), индекс эмфиземы (ES), индекс толщины бронхиальной стенки до уровня 5-го порядка (airway wall thickness, WT). Также установлено, что коэффициенты корреляции выше для экспираторных показателей, что еще раз подтверждает необходимость проведения экспираторной фазы сканирования у больных ХОБЛ [6].

В нашей работе были исследованы количественные показатели, которые получают с помощью отечественной системы по автоматической обработке и анализу медицинских изображений. Полученные данные подтверждают эффективность сегментации эмфиземы, а данные по влиянию распространенности эмфиземы на показатели функции внешнего дыхания и состояния правых отделов сердца подтверждают результаты многочисленных работ, которые были выполнены с помощью иностранных рабочих станций.

### Выводы

В результате анализа литературы и собственного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Приложения для количественного анализа компьютерных

томограмм легких предоставляют врачу объективные показатели, позволяющие определить тяжесть бронхиальной обструкции у больных ХОБЛ.

2. Разработанное в рамках системы «Автоплан» приложение показало высокую эффективность при выявлении эмфиземы.

3. Выявлена корреляция получаемых числовых показателей не только с ФВД, но и толщиной стенки правого желудочка, что позволяет использовать их для прогноза ремоделирования по типу хронического легочного сердца.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Финансирование

Исследование выполнялось в рамках государственного контракта с Минпромторгом РФ №14411.2049999.19.013 07.04.2014.

### Литература

1. Тюрин И.Е. Компьютерная томография органов грудной полости. СПб.: ЭЛБИ-СПб; 2003.
2. Труфанов Г.Е. Рентгеновская компьютерная томография в диагностике хронической обструктивной болезни легких. СПб.: ЭЛБИ-Пресс; 2009.
3. Зельгер П.М. Компьютерная томография в диагностике и фенотипировании хронической обструктивной болезни легких: Автореф. ... канд. мед. наук. СПб.; 2016.
4. Hansell D.M., Bankier A.A., MacMahon H. et al. Fleischner Society: glossary of terms for thoracic imaging. *Radiology*. 2008; 246 (3): 697–722.
5. Xie X., de Jong P.A., Oudkerk M. et al. Morphological measurements in computed tomography correlate with airflow obstruction in chronic obstructive pulmonary disease: systematic review and meta-analysis. *Eur. Radiol.* 2012; 22: 2085–93.

6. Cohen J. Weighted kappa: nominal scale agreement with provision for scale disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin*. 1968; 70 (4): 213–20.
7. Boutou A.K., Nair A., Douraghi-Zadeh D. et al. A combined pulmonary function and emphysema score prognostic index for staging in chronic obstructive pulmonary disease. *Plos one*. 2014; 9 (Is. 10).
8. Muller N.L., Staples C.A., Miller R.R. et al. “Density mask”: an objective method to quantitate emphysema using computed tomography. *Chest*. 1988; 94 (4): 782–7.

### References

1. Tyurin I.E. Computered tomography of thorax. St. Petersburg: ELBI-SPb; 2003 (in Russ.).
2. Trufanov G.E. Computered tomography in COPD diagnostic. St. Petersburg: ELBI-Press; 2009 (in Russ.).
3. Zel'ter P.M. Computered tomography in COPD diagnostic and phenotyping: Cand. med. sci. Theses of Diss. St. Petersburg; 2016 (in Russ.).
4. Hansell D.M., Bankier A.A., MacMahon H. et al. Fleischner Society: glossary of terms for thoracic imaging. *Radiology*. 2008; 246 (3): 697–722.
5. Xie X., de Jong P.A., Oudkerk M. et al. Morphological measurements in computed tomography correlate with airflow obstruction in chronic obstructive pulmonary disease: systematic review and meta-analysis. *Eur. Radiol.* 2012; 22: 2085–93.
6. Cohen J. Weighted kappa: nominal scale agreement with provision for scale disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin*. 1968; 70 (4): 213–20.
7. Boutou A.K., Nair A., Douraghi-Zadeh D. et al. A combined pulmonary function and emphysema score prognostic index for staging in chronic obstructive pulmonary disease. *Plos one*. 2014; 9 (Is. 10).
8. Muller N.L., Staples C.A., Miller R.R. et al. “Density mask”: an objective method to quantitate emphysema using computed tomography. *Chest*. 1988; 94 (4): 782–7.

Поступила 17.05.2016  
Принята к печати 09.08.2016