

УДК 616.24-007.63-08

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-4-37-43>

© Гаврилов П.В., Грива Н.А., Торкатюк Е.А., 2020 г.

## ОЦЕНКА ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ ПРОГРАММНОГО АНАЛИЗА ОБЪЕМА ЭМФИЗЕМЫ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ РАЗЛИЧНЫМИ ПРОГРАММНЫМИ ПРОДУКТАМИ

<sup>1,2</sup>П. В. Гаврилов, <sup>1</sup>Н. А. Грива, <sup>1</sup>Е. А. Торкатюк<sup>1</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

**Цель исследования:** оценить возможности различных программ в оценке количественных показателей эмфиземы легких и воспроизводимость результатов.

**Материалы и методы.** Исследование основано на результатах распознавания и анализа компьютерных томограмм посредством трех программных продуктов.

**Результаты.** Все использованные нами программы обладали высокой чувствительностью и специфичностью при распознавании эмфиземы легких. Выявлен ряд ошибок, препятствующих точному анализу изображений.

**Выводы.** Воспроизводимость результатов количественной оценки объема эмфиземы на данном этапе достоверно не определяется и зависит от выбора программных продуктов для анализа.

**Ключевые слова:** компьютерная томография, эмфизема, автоматический анализ

Контакт: Грива Надежда Алексеевна, [grivamd@gmail.com](mailto:grivamd@gmail.com)

© Gavrilov P.V., Griva N.A., Torkatyuk E.A., 2020

## EVALUATION OF THE INTERCHANGEABILITY OF VOLUMETRIC LUNG EMPHYSEMA QUANTIFICATION: COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EVALUATION RESULTS USING DIFFERENT SOFTWARE PRODUCTS

<sup>1,2</sup>Pavel V. Gavrilov, <sup>1</sup>Nadezda A. Griva, <sup>1</sup>Elena A. Torkatyuk<sup>1</sup>St. Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russia<sup>2</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

**The aim of this study:** to assess the ability of different software products to automated volumetric quantification of lung emphysema and see whether the results can be interconvertible.

**Materials and methods.** This study is based on the results of recognition and analysis of computer tomograms using three different software products.

**Results:** all the programs we used have high sensitivity and specificity in recognition of lung emphysema. However, there are a number of errors that prevent accurate image analysis.

**Conclusions.** The interconvertibility of the results of the automated volumetric quantification of lung emphysema at this stage is not reliably determined and depends on the choice of software products used for analysis.

**Key words:** computed tomography, emphysema, automatic analysis

Contact: Griva Nadezda Alekseevna, [grivamd@gmail.com](mailto:grivamd@gmail.com)

**Источник финансирования:** авторы подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Гаврилов П.В., Грива Н.А., Торкатюк Е.А. Оценка воспроизводимости программного анализа объема эмфиземы: сравнительный анализ результатов при оценке различными программными продуктами // *Лучевая диагностика и терапия*. 2020. Т. 11, № 4. С. 37–43, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-4-37-43>.

**Source of financing:** the authors confirmed the lack of financial support for the study.

**Conflict of interests:** the author stated that there is no potential conflict of interests.

**For citation:** Gavrilov P.V., Griva N.A., Torkatyuk E.A. Evaluation of the interchangeability of volumetric lung emphysema quantification: comparative analysis of the evaluation results using different software products // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2020. Vol. 11, No. 4. P. 37–43, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-4-37-43>.

**Введение.** В настоящий момент искусственный интеллект (ИИ) все больше становится частью работы практикующего врача-рентгенолога. Существуют

три основных направления развития ИИ в рентгенологии: визуализация, сегментация и радиомика [1, с. 8–18]. Программные продукты разнообразны, и их

применение значительно упрощает анализ изображений с сокращением времени их обработки. Спектр патологий, анализируемых с помощью искусственного интеллекта, обширен, однако в своей работе мы уделили внимание такому заболеванию, как эмфизема легких. Согласно D.A. Lynch и соавт. (рекомендации Fleishnersociety, 2018), эмфизема легких характеризуется наличием перманентно расширенных воздушных пространств дистальнее терминальных бронхиол с разрушением альвеолярной стенки [2, с. 859–866]. По данным экспертов всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), эмфизема является составным элементом хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ). ХОБЛ на настоящий момент стоит на четвертом месте в списке ведущих причин смертности населения во всем мире, и по прогнозам может выйти на третье место. В 2012 г. от ХОБЛ умерло более 3 млн человек, что составляет 6% всех смертей в мире. В Российской Федерации этим заболеванием страдает около 2,4 млн человек. Однако по данным эпидемиологических исследований их число значительно больше и на сегодняшний день достигает 16 млн человек [3, с. 11–15; 4, с. 1065–1071]. Морфологически выделяют следующие типы эмфиземы:

1) центриацинарная (центрилобулярная) — определяется в тех случаях, когда деструкция альвеолярной стенки ограничена респираторными бронхиолами и центральными частями ацинуса, которые окружены макроскопически нормальной легочной паренхимой;

2) панаацинарная (панлобулярная) — определяется как деструкция альвеолярных стенок практически на всем протяжении легкого, может сочетаться с центриацинарной;

3) парасептальная (дистальная ацинарная) — характеризуется распространением участков эмфизематозной перестройки вдоль листов костальной и междолевой плевры с распространением на всю вторичную легочную дольку [5, с. 31–69].

Также, в зависимости от объема пораженной эмфизематозными изменениями легочной ткани, D.A. Lynch и соавт. (рекомендации Fleishnersociety, 2018) выделяют несколько степеней выраженности центриацинарной эмфиземы.

1 степень (А) — минимальная — единичные участки повышения прозрачности легочной ткани на уровне ацинуса, занимающие менее 0,5% площади легочной зоны.

2 степень (В) — умеренная — множественные распространенные участки повышения прозрачности легочной ткани, занимающие часть ацинуса, окруженные неизменной легочной паренхимой и занимающие не более 0,5–5% легочной ткани.

3 степень (С) — средней степени — множественные, четко очерченные участки повышения прозрачности легочной ткани на уровне ацинуса, занимающие более 5% от площади любой легочной зоны.

4 степень (D) — сливающаяся — сливающиеся центрилобулярные и панлобулярные участки эмфиземы, с формированием полностью измененных вторичных легочных долек без их выраженного вздутия и нарушения архитектоники легочной ткани.

5 степень (Е) — выраженная деструктивная эмфизема — панлобулярные участки вздутия легочной ткани с увеличением объема легочной долики и нарушением архитектоники легочной ткани.

Такая классификация изменений стала возможна, так как появились данные о взаимосвязи объемных показателей эмфиземы легких с выраженностью клинической картины [2, с. 859–866]. На данный момент компьютерная томография является самым чувствительным неинвазивным методом диагностики морфологических изменений в легочной паренхиме [5, с. 31–69].

Мультифазовая компьютерная томография (МСКТ) является наиболее информативным неинвазивным методом, позволяющим визуализировать морфологическую перестройку легочной ткани [5, с. 31–69]. Первые научные работы, посвященные количественной оценке эмфиземы легких, согласно сервису Pubmed, датируются 1964 г. [6, с. 713–722], тогда французские ученые попытались проанализировать и классифицировать эмфизему на основании данных спирометрии. Позднее, в 1969 г. Dunnill предложил способ оценки пораженной ткани, основанный на тестах, проводимых на биопсийном материале [7, с. 1024–1027]. Данные о корреляции морфологических изменений с визуализируемыми при компьютерной томографии впервые появились в 1984 г. Тогда Hayhurst и соавт. сравнил данные КТ легких с биопсийным материалом 6 пациентов с центрилобулярной эмфиземой и 5 здоровых пациентов. Они оценили распределение частот значений понижения плотности легочной ткани на КТ и показали, что у пациентов с эмфиземой было больше пикселей со значениями ослабления от  $-900$  Н до  $-1000$  Н, чем у пациентов без эмфиземы ( $p < 0,001$ , тест Уилкоксона) [8, с. 320–322; 9, с. 299–305; 10, с. 1017–1025].

С развитием систем ИИ появились работы, показывающие зависимость результатов анализа от технических параметров выполнения МСКТ [11, с. 1623–1631; 12, с. 4–5; 13, с. 2597–2606; 14, с. 500–510]. Также в последние годы имеются данные о корреляции результатов автоматизированного анализа с данными функциональных методов диагностики [4, с. 1065–1071]. Современные приложения для оценки эмфиземы доступны как в расширенных версиях рабочих станций компьютерных томографов, так и в виде отдельных программ. Алгоритм обработки компьютерных томограмм различными инструментами включает сегментацию легочной ткани, то есть разграничение ее от мягких тканей, средостения и сосудов, затем картирование зон с плотностью ниже порогового значения [13, с. 2597–2606; 14, с. 500–

510]. Известно, что на количественную оценку эмфиземы КТ влияют как доза облучения (т.е. шум изображения), так и методика реконструкции. Учитывая увеличение количества МСКТ исследований, выполняемых одному пациенту, большое значение приобретает снижение дозовой нагрузки. В свою очередь, снижение дозы приводит к более высоким уровням шума, особенно когда изображения реконструируются с использованием обычной обратной проекции с фильтрацией (filtered back projection — FBP). По этой причине было разработано несколько методов итеративной реконструкции (iterative reconstruction — IR) для уменьшения шума изображения [11, с. 1623–1631; 12, 13, с. 2597–2606]. При пониженной дозе использование методики FBP приводит к переоценке количества эмфиземы из-за более высоких уровней шума, в то время как использование IR может привести к недооценке из-за уменьшенного шума [12, 13, с. 2597–2606; 14, с. 500–510].

МСКТ может использоваться как для выявления пациентов с эмфиземой, так и для мониторинга прогрессирования у пациентов с ХОБЛ. В работах, посвященных количественной оценке эмфиземы легких, используются различные пороговые значения плотности легочной ткани: от –910 HU до –1000 HU [8, с. 320–322; 9, с. 299–305; 10, с. 1017–1025; 15, с. 1036–1043]. Однако на данный момент общепринятым значением является плотность ниже –950 HU.

**Цель работы:** оценить возможности различных программных продуктов в оценке количественных показателей эмфиземы легких и воспроизводимость результатов этого анализа.

**Материалы и методы.** Проведен ретроспективный анализ данных МСКТ органов грудной клетки 100 пациентов (База компьютерных томограмм пациентов для тестирования программ автоматического анализа эмфиземы легких, свидетельство о регистрации базы данных RU № 2020621088). Все исследования были выполнены на томографе TOSHIBA AQUILION 32 по стандартной программе с толщиной среза 1 мм, без внутривенного контрастного усиления. Данные всех пациентов были оценены двумя независимыми рентгенологами. Первично изучение патологических изменений в легких при МСКТ проводилось в стандартном «легочном окне» (–1200/–600 HU). Далее для более глубокой оценки использовались три различные программы. Все обследованные были поделены на две равные группы по 50 человек.

**Критерии включения для группы пациентов без эмфизематозных изменений при компьютерной томографии (I):**

1) при анализе изображений компьютерной томографии двумя рентгенологами определено отсутствие эмфиземы;

2) все исследования выполнены на одном аппарате с одинаковыми техническими условиями.

**Критерии включения для группы пациентов с наличием эмфиземы, но отсутствием деструктивных изменений инфекционной природы либо бронхоэктазов при компьютерной томографии (II):**

1) при анализе изображений компьютерной томографии двумя рентгенологами определено наличие эмфиземы при отсутствии деструктивных и/или бронхоэктатических изменений;

2) все исследования выполнены на одном аппарате с одинаковыми техническими условиями.

**Критериями исключения** для всех групп пациентов были наличие операции на легких в анамнезе, а также наличие эмфиземы, вызванное дефицитом  $\alpha$ 1-антитрипсина.

В исследовании преобладали пациенты в возрасте 25–60 лет. Мужчины составили 52,7%, женщины — 47,3%. Группы были сопоставимы по полу и возрасту.

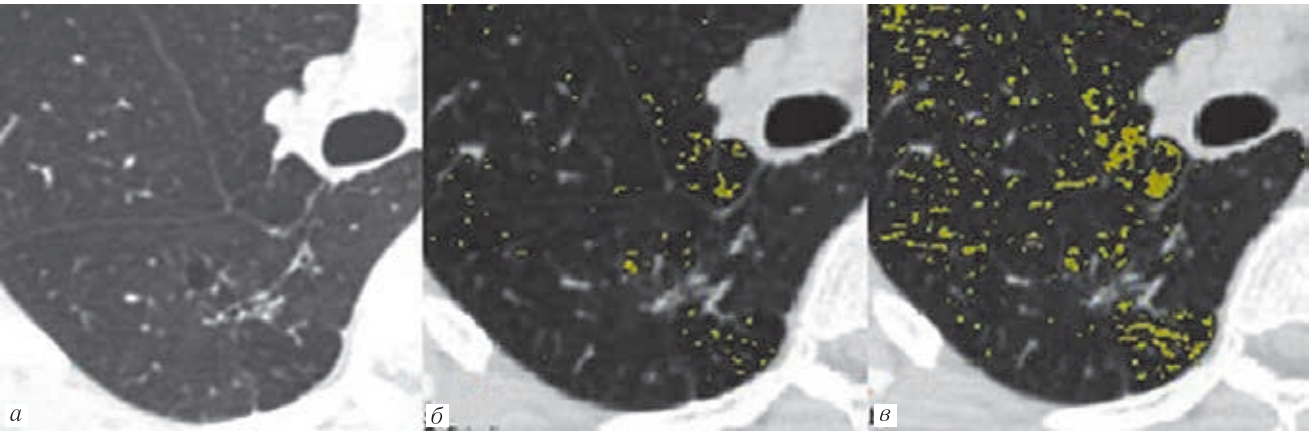
Статистическая обработка данных производилась с помощью программы StatPlus на базе Word Excel, уровень значимости принимался менее 5%.

**Результаты и их обсуждение.** В контрольной группе (здоровые пациенты) все программы показали отсутствие эмфизематозных изменений в 100% случаев. Как было указано выше, пороговым значением для оценки эмфиземы изначально было взято –950 HU [2, с. 859–866]. Однако в процессе обработки изображений методом подбора выявлено, что более достоверный результат при сопоставлении данных компьютерного анализа и визуализируемых человеческим глазом изменений определяется при пороговом значении плотности –930 HU (рис. 1).

Минимальный процент обнаруженных изменений для всех программ составил 0,2%. Различия в программных расчетах у одного пациента колебались от 0 до 19,1%. В процессе обработки изображений были выявлены три группы возможных ошибок, влияющих на результат оценки: погрешности сегментации, неправильное распознавание элементов бронхиального дерева и артефактов от дыхания и/или сердцебиения (рис. 2).

Ошибки сегментации встречались в программе А достоверно чаще — в 16% случаев ( $n=8$ ), при этом после ручного корректирования базовых точек начала процесса сегментации, дальнейшие расчеты проводились успешно, но без разделения на правое и левое легкое (программа не была способна успешно отделить их друг от друга). Неправильное распознавание элементов бронхиального дерева, в частности мелких бронхов, отмечалось в 100% случаев для всех трех программ. Включение в анализ артефактов от дыхания/сердцебиения статистически значимо ниже при анализе данных программой А (32% случаев,  $n=16$ ), в то время как результаты оценки программ В и С достоверно не отличаются (60% случаев,  $n=30$  и 62% случаев,  $n=31$  соответственно).

С учетом рекомендаций Fleischnersociety 2018 г. было предложено разделить пациентов на группы



**Рис. 1.** Влияние пороговой плотности на качество выявления эмфизематозных изменений: *а* — изображение в легочном окне, определяются множественные участки центрилобулярной и парасептальной эмфиземы; *б* — отмечается неполное картирование участков эмфиземы при пороговом значении плотности –950 HU; *в* — при пороговом значении плотности –930 HU программные расчеты в большей степени совпадают с визуализируемыми изменениями

**Fig. 1.** The influence of the threshold density on the quality of detection of lung emphysema: *a* — image in the pulmonary window, multiple areas of centrilobular and paraseptal emphysema are detected; *б* — incomplete mapping of emphysema areas is noted at a density threshold of –950 HU; *в* — at a density threshold of –930 HU, the software calculations are more consistent with the visualized changes

в зависимости от определенного программой процента пораженной эмфиземой легочной ткани (таблица) [2, с. 859–866].

легочной ткани говорит о высокой чувствительности к выявлению патологически измененных участков. Проверка на нормальность распределения оценок

Т а б л и ц а

Распределение по группам в зависимости от поражения легочной ткани, %

Table

Groups distribution depending on percentage of the lung tissue lesion				
Программа	A	B	C	Всего
Группа 1: <0,5 %	4	3	2	9
Группа 2: 0,5 %≤x≤5 %	16	15	17	48
Группа 3: 5 %	30	30	29	89
Итого	50	48	48	146

При оценке распределения пациентов на группы, в зависимости от объема пораженной легочной ткани, преобладающее большинство имело распространенные изменения (>5% поражения). Данные одного из 4 пациентов первой группы не были интерпретированы программами В и С ввиду ошибки сегментации. Два пациента при анализе программой С перешли из группы 1 в группу 2. Еще один пациент при анализе программой В перешел из группы 2 в группу 3, а при анализе программой С снова был включен в группу 2.

Далее была проведена статистическая обработка данных с использованием линейной регрессии и корреляционного анализа для оценки распределения результатов и определения их воспроизводимости (рис. 3).

На графике видна линейная зависимость между оценкой поражения легочной ткани, данной двумя программами, т.е. результаты программ согласованы между собой.

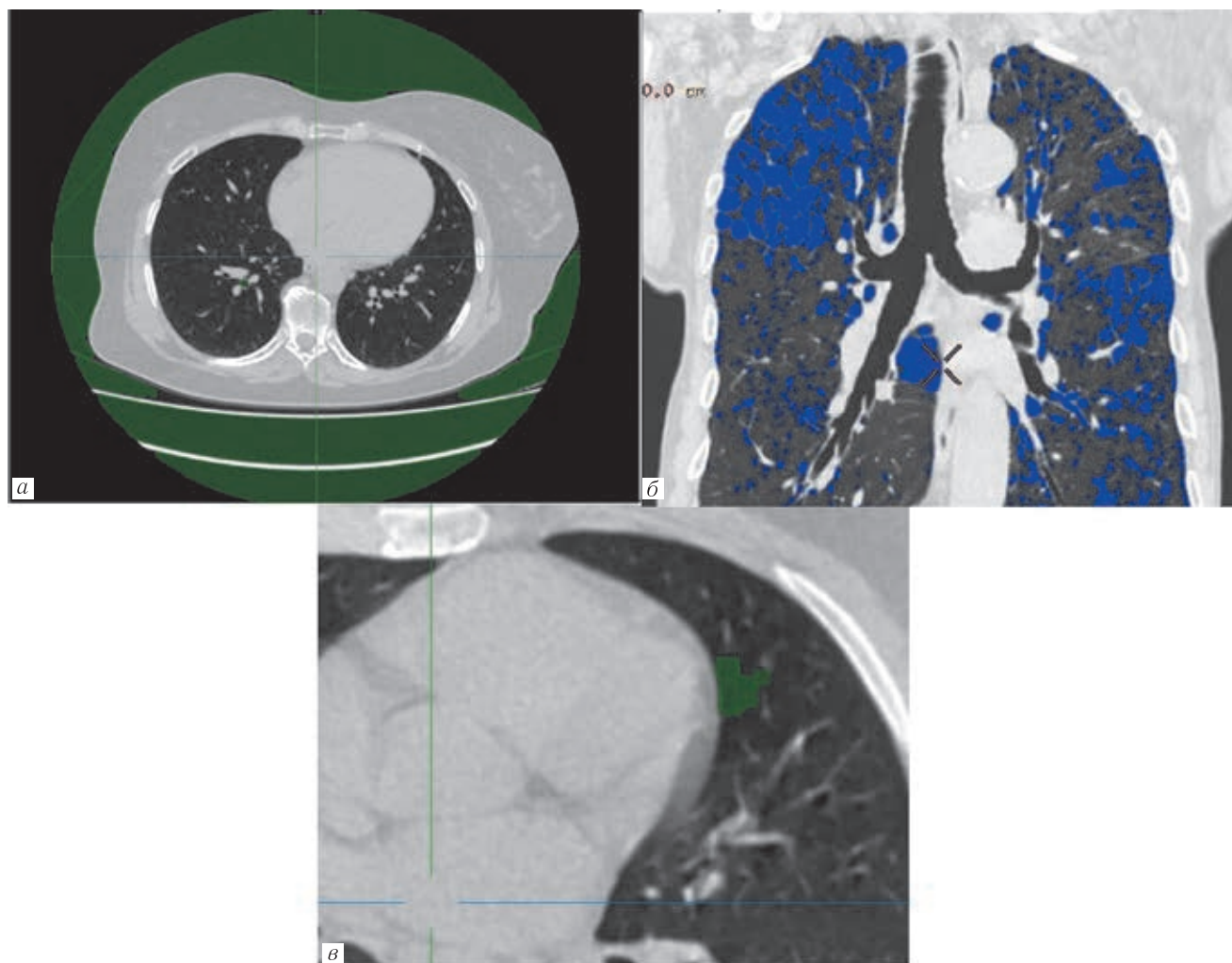
Обнаруженная линейная зависимость между оценками программами процента и объема поражения

показала отрицательный результат — распределения не нормальные, поэтому для корреляционного анализа был выбран критерий Спирмана, вместо критерия Пирсона. Значение критерия — 0,919–0,993, коэффициент ранговой корреляции статистически значим и ранговая корреляционная связь между оценками значимая, т.е. имеется достоверная корреляция между всеми тремя программами.

Далее был проведен анализ расхождения результатов оценок (рис. 4).

На графиках определяется зависимость величины расхождения результатов от процента поражения легких.  $R^2=1$  и близкое к 1 говорит о достоверности линии тренда (предсказанное значение линии тренда близко к фактическим данным). Коэффициент отклонения показывает, насколько отличаются между собой результаты расчетов: чем ближе его значение к 0, тем выше воспроизводимость результатов. В данном случае на графиках *а* и *б* видно, что различие в расчетах существенное. Налицо отклонение оценок, даваемых программой, в сторону завышения. На графике *в*





**Рис. 2.** Варианты программных ошибок, влияющие на результат оценки (зеленым и синим цветом выделены участки, принимаемые программами за эмфизематозные изменения): *а* — ошибка сегментации; *б* — неправильное распознавание элементов бронхиального дерева; *в* — артефакты от дыхания/сердцебиения

**Fig. 2.** Types of software errors affecting the assessment result (green and blue highlighted areas were detected as emphysema by software products): *a* — segmentation error; *б* — incorrect recognition of elements of the bronchial tree; *в* — artifacts from breathing/heartbeat

видно, что расхождение оценок, даваемых программами А и С, укладывается в доверительный интервал  $[-0,0314; 0,0642]$ , т.е. результаты воспроизводимы. Единичные выбросы — пациенты, данные которых не были определены ввиду ошибки сегментации.

**Заключение.** Эмфизема легких является морфологическим субстратом ХОБЛ и достаточно распространенной патологией легочной ткани. Первые попытки количественно оценить объем поражения легких появились уже в 60-х годах XX века. С появлением и развитием ИИ в радиологии эти исследования получили новые возможности, и на настоящий момент по сведениям некоторых ученых результаты компьютерного анализа сопоставимы с данными функциональных методов исследования.

Однако существуют некоторые ограничения, и, анализируя изображения различных групп пациентов с эмфиземой легких с помощью программ автоматической сегментации, мы столкнулись с несколькими проблемами.

Во-первых, это отсутствие четких параметров оценки нормы и патологии для программ ИИ и, как следствие, «золотого стандарта» диагностики. Во-вторых, несовершенство самих программ и наличие разного вида погрешностей измерений и ошибок.

ИИ позволяет распознавать сложные паттерны в данных визуализации и может предоставить количественную оценку в автоматическом режиме. Тем не менее на данном этапе она пока не может считаться достоверной.

При анализе двух групп пациентов в рамках этой работы было доказано, что все использованные нами программы обладают высокой чувствительностью и специфичностью при распознавании эмфиземы легких. Тем не менее существует ряд ошибок, препятствующих точному анализу изображений. Найденные ошибки были поделены на три группы (ошибки сегментации, неправильное распознавание элементов бронхиального дерева и неправильное распознавание артефактов от дыхания/сердцебиения).

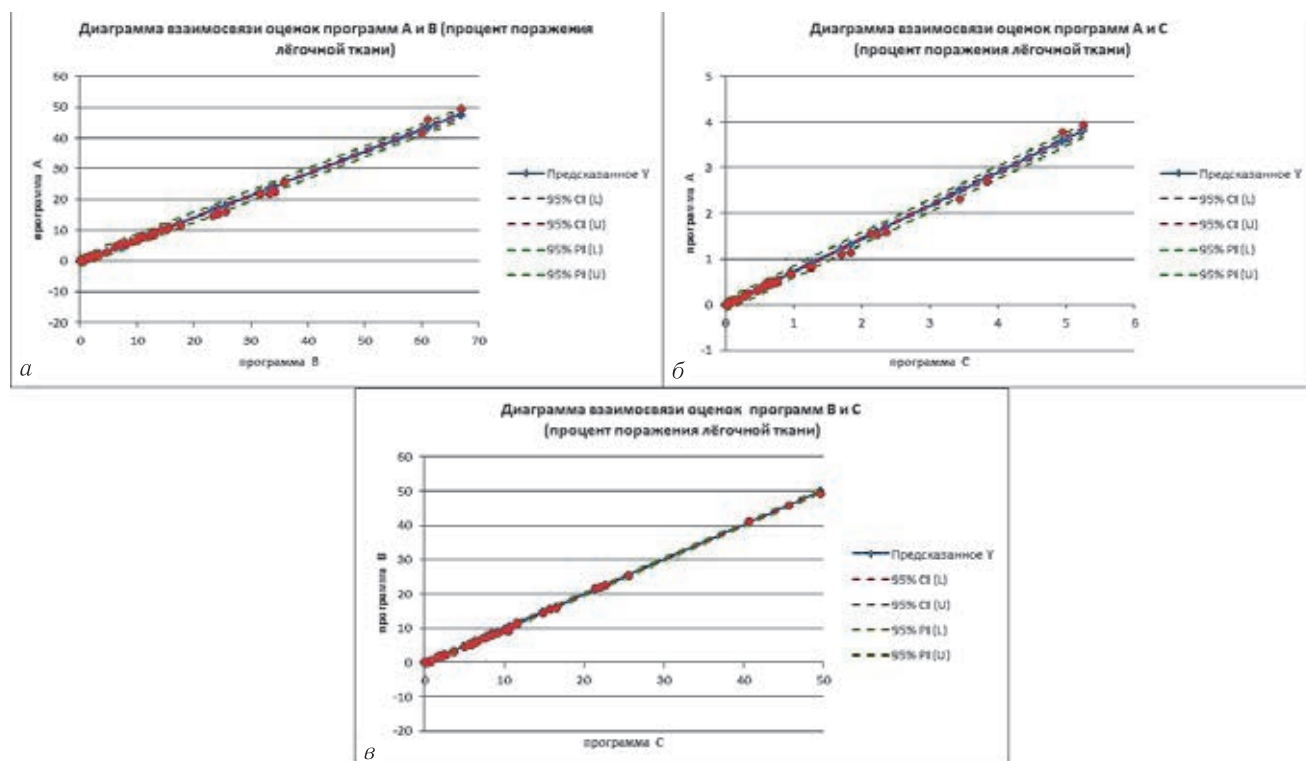


Рис. 3. Диаграмма взаимосвязи оценок программ А, В и С (процент поражения легочной ткани). CI — 95% доверительный интервал, PI — 95% интервал предсказания, предсказанное, Y — линия тренда

Fig. 3. Correlation diagrams of the programs A, B and C assessment results (percentage of lung tissue damage). CI — 95%, Confidence interval, PI — 95% Predicted interval, Y — trend line

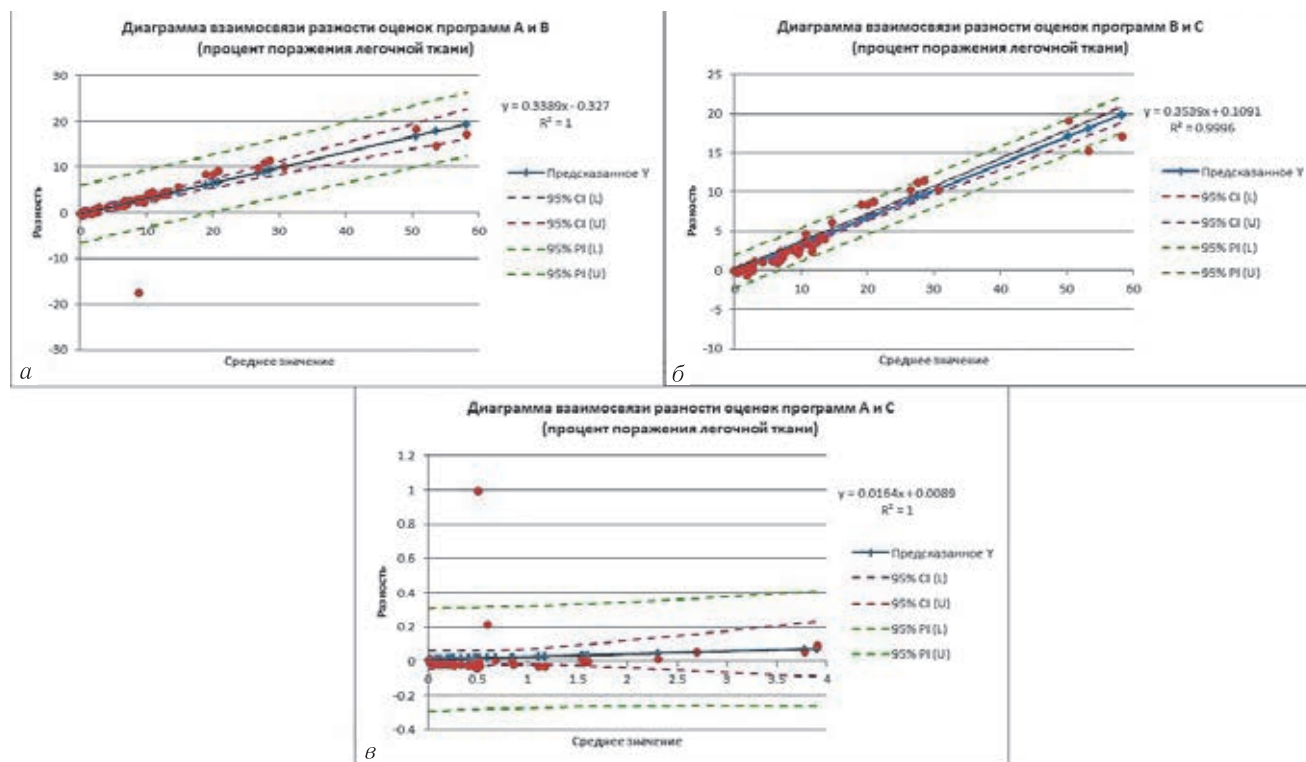


Рис. 4. Диаграмма взаимосвязи оценок программ А, В и С (процент поражения легочной ткани). CI — 95% доверительный интервал, PI — 95% интервал предсказания, предсказанное, Y — линия тренда, R2 — величина достоверности аппроксимации, 0,3389 (а), 0,3539 (б), 0,0164 (в) — коэффициент отклонения.

Fig. 4. Correlation diagrams of the programs A, B and C assessment results difference (percentage of lung tissue damage). CI — 95% Confidence interval, PI — 95% Predicted interval, Y — trend line. R2 — the approximation reliability value, 0,3389 (а), 0,3539 (б), 0,0164 (в) — the deviation coefficient

Нами было определено достоверное завышение итоговых расчетов объема пораженной легочной ткани программой В, в сравнении с двумя другими. При этом виден высокий уровень согласованности результатов между программами А и С. Отмечается линейная зависимость между объемом поражения и величиной расхождения результатов анализа программы В и программ А и С — чем больше объем, тем больше расхождение. С учетом наличия ошибок распознавания элементов бронхиального дерева и артефактов от дыхания и/или сердцебиения, итоговая оценка складывается из объема непосредственно пораженной легочной ткани и объема элементов нормальной анатомии легких, т.е. чем боль-

ше объем поражения, тем больший вклад в общую картину вносит данные группы ошибок. Единичные выбросы связаны с наличием ошибок сегментации.

Программный анализ изображений позволяет быстро дать относительно объективную оценку наличия/отсутствия эмфизематозного поражения легочной ткани.

Существует ряд ошибок, влияющих на результат оценки, препятствующих точному анализу изображений.

Воспроизводимость результатов количественной оценки объема эмфиземы на данном этапе достоверно не определяется и зависит от выбора программных продуктов для анализа.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Мелдо А.А., Уткин Л.В., Трофимова Т.Н., Рябинин М.А., Моисеенко В.М., Шелехова К.В. Новые подходы к разработке алгоритмов искусственного интеллекта в диагностике рака легкого // *Лучевая диагностика и терапия*. 2019. Т. 10, № 1. С. 8–18. [Meldo A.A., Utkin L.V., Trofimova T.N., Ryabinin M.A., Moiseenko V.M., Shelekhova K.V. Novel approaches to development of artificial intelligence algorithms in the lung cancer diagnostics. *Diagnostic radiology and radiotherapy*, 2019, Vol. 10, No. 1, pp. 8–18 (In Russ.)]. doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-1-8-18>.
2. Lynch D.A., Moore C.M., Wilson C. et al. CT-based Visual Classification of Emphysema: Association with Mortality in the COPD Gene Study // *Radiology*. 2018. Vol. 288, No. 3. P. 859–866. doi: [10.1148/radiol.2018172294](https://doi.org/10.1148/radiol.2018172294).
3. Тюрин И.Е. Компьютерная томография органов дыхания // *Практическая пульмонология*. 2003. № 3. С. 11–15 [Tyurin I. E. Computed tomography of the chest. *Practical pulmonology*, 2003, No. 3, pp. 11–15 (In Russ.)].
4. Fischer A.M., Varga-Szemes A., van Assen M. et al. Comparison of Artificial Intelligence-Based Fully Automatic Chest CT Emphysema Quantification to Pulmonary Function Testing // *AJR Am J Roentgenol*. 2020. Vol. 214, No. 5, pp. 1065–1071. doi: [10.2214/AJR.19.21572](https://doi.org/10.2214/AJR.19.21572).
5. Трофимова Т.Н., Карлова Н.А., Ратников В.А., Лукина О.В. и др. *Современные классификации RADS и принципы построения заключения* / под ред. Т.Н.Трофимовой. СПб., 2018. С. 31–69 [Trofimova T.N., Karlova N.A., Ratnikov V.A., Lukina O.V. et al. *Modern RADS classifications and principles for constructing a conclusion*. St. Petersburg, 2018, pp. 31–69 (In Russ.)].
6. Coursergue J.L. Spirographic study of alveolar emphysema and so-called «emphysematous» states. Practical diagnosis and attempted quantification // *Maroc. Med*. 1964. Vol. 43. P. 713–722.
7. Dunnill M.S. Emphysema: The Classification and Quantification of Emphysema // *Proc. R. Soc. Med*. 1969. Oct; Vol. 62, No. 10. P. 1024–1027.
8. Hayhurst M.D., MacNee W., Flenley D.C. et al. Diagnosis of pulmonary emphysema by computerised tomography // *Lancet*. 1984. Vol. 2, No. 8398. P. 320–322. doi: [10.1016/s0140-6736\(84\)92689-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(84)92689-8).
9. Daghighi J., Beji M., Kanoun N. et al. Emphysemepulmonaire: quantification par tomоденситометрия et corrélations avec les épreuves fonctionnelles respiratoires [Pulmonary emphysema: quantification using computed tomography and correlations with respiratory function tests] // *Rev. Mal. Respir*. 1993. Vol. 10, No. 4. P. 299–305.
10. Thurlbeck W.M., Müller N.L. Emphysema: definition, imaging, and quantification // *AJR Am. J. Roentgenol*. 1994. Vol. 163, No. 5. P. 1017–1025. doi: [10.2214/ajr.163.5.7976869](https://doi.org/10.2214/ajr.163.5.7976869).
11. Willemink M.J., de Jong P.A., Leiner T. et al. Iterative reconstruction techniques for computed tomography Part 1: technical principles // *Eur. Radiol*. 2013. Vol. 23, No. 6. P. 1623–1631. doi: [10.1007/s00330-012-2765-y](https://doi.org/10.1007/s00330-012-2765-y).
12. Den Harder A.M., de Boer E., Lagerweij S.J. et al. Emphysema quantification using chest CT: influence of radiation dose reduction and reconstruction technique // *Eur. Radiol. Exp*. 2018. Vol. 2, No. 30. <https://doi.org/10.1186/s41747-018-0064-3>.
13. Baumüller S., Winklehner A., Karlo C. et al. Low-dose CT of the lung: potential value of iterative reconstructions // *Eur. Radiol*. 2012. Vol. 22, No. 12. P. 2597–2606. doi: [10.1007/s00330-012-2524-0](https://doi.org/10.1007/s00330-012-2524-0).
14. Hosny A. et al. Artificial intelligence in radiology // *Nature Reviews Cancer*. 2018. Vol. 18, No. 8. P. 500–510.
15. Madani A., Zanen J., de Maertelaer V., Gevenois P.A. Pulmonary emphysema: objective quantification at multi-detector row CT-comparison with macroscopic and microscopic morphometry // *Radiology*. 2006. Vol. 238, No. 3. P. 1036–1043. doi: [10.1148/radiol.2382042196](https://doi.org/10.1148/radiol.2382042196).

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 17.09.2020 г.

### Авторский вклад в подготовку статьи:

Вклад в концепцию и план исследования — П.В.Гаврилов, Н.А.Грива. Вклад в сбор данных — П.В.Гаврилов. Вклад в анализ данных и выводы — П.В.Гаврилов, Н.А.Грива, Е.А.Торкатюк. Вклад в подготовку рукописи — П.В.Гаврилов, Н.А.Грива, Е.А.Торкатюк.

### Сведения об авторах:

Гаврилов Павел Владимирович — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник, руководитель направления «Лучевая диагностика» федерального государственного бюджетного учреждения «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии», доцент научно-клинического и образовательного центра «Лучевая диагностика и ядерная медицина» института высоких медицинских технологий федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: [spbniiifrentgen@mail.ru](mailto:spbniiifrentgen@mail.ru); ORCID: 0000–0003–3251–4084;

Грива Надежда Алексеевна — аспирант федерального государственного бюджетного учреждения «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: [grivamd@gmail.com](mailto:grivamd@gmail.com); ORCID: 0000–0003–3580–8723;

Торкатюк Елена Александровна — кандидат медицинских наук, руководитель учебного отдела федерального государственного бюджетного учреждения «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии», доцент кафедры госпитальной терапии федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: [elena.torkatyuk@gmail.com](mailto:elena.torkatyuk@gmail.com); ORCID: 0000–0002–3847–4979.