

Новая коронавирусная инфекция COVID-19

УДК 615.84+616-073.75

ВИЗУАЛЬНАЯ И АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКИ ОБЪЁМА ПОРАЖЕНИЯ ЛЁГКИХ НА КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ПРИ ПНЕВМОНИИ, ВЫЗВАННОЙ COVID-19

П.М. Зельтер, А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин, С.С. Первушкин

ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Самара

Резюме. В работе произведена оценка различных признаков поражения легочной ткани и их объема с помощью автоматического и эмпирического методов на компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки при пневмониях, вызванных COVID-19. Проанализированы 198 КТ грудной клетки пациентов с подтвержденной пневмонией COVID-19 различной степени тяжести. Визуальную оценку проводил врач рентгенолог с опытом в торакальной радиологии 8 лет. Оценивалось наличие признаков: «матовое стекло», консолидация, ретикулярные изменения, «булыжная мостовая». Автоматизированный анализ компьютерных томограмм проводился в системе «Сервис автоматической оценки тяжести поражения легких у пациентов с COVID-19», в которой определялись объемы легких, «матового стекла» и консолидации. Средний объем поражения по всем группам составил по данным визуального анализа 19,1 %. По данным автоматического анализа распространенность составила 11,1 %. Визуальная оценка объема поражения до 35 % выше по сравнению с автоматизированной оценкой, при которой информация носит более объективный характер.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Ключевые слова: COVID-19, пневмония, 3D-моделирование, МСКТ, САД, нейросети.

Для цитирования: Зельтер П.М., Колсанов А.В., Чаплыгин С.С., Первушкин С.С. Визуальная и автоматическая оценки объёма поражения лёгких на компьютерной томографии при пневмонии, вызванной COVID-19. *Вестник медицинского института «Реавиз». Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2020;6(48):5–13. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2020.6.1>



VISUAL AND AUTOMATIC EVALUATION OF THE VOLUME OF LUNG DAMAGE ON COMPUTER TOMOGRAPHY WITH PNEUMONIA CAUSED BY COVID-19

P.M. Zelter, A.V. Kolsanov, S.S. Chaplygin, S.S. Pervushkin

Samara State Medical University, Samara

Abstract. The paper assessed various signs of lung tissue damage and the extent of its damage using automatic and empirical methods on CT of the chest organs in pneumonia caused by COVID-19. We analyzed 198 CT scans of the chest of patients with confirmed COVID-19 pneumonia of varying severity. The visual assessment was performed by a radiologist with 8 years of experience in thoracic radiology. The presence of CT patterns was assessed: ground-glass opacities, consolidation, reticular changes, “crazy paving”. Automatic analysis of CT scans performed in the “service of automatic diagnosis of patients with COVID-19”, which is determined by the amount of light and the amount of “ground glass” and consolidation. The automated analysis of computed tomograms was carried out in the “Service for automatic assessment of the severity of lung injury in patients with COVID-19”, which determined the volume of the lungs, the volume of the lesion “frosted glass” and consolidation. The average lesion volume in all groups was 19.1 % according to visual analysis. According to automatic analysis, the prevalence was 11.1 %. The visual assessment of the volume of the lesion is more pronounced compared with the automated assessment, in which the information is more objective.

Competing interests. The authors declare no competing interests.

Funding. This research received no external funding.

Key words: COVID-19, pneumonia, 3-D modelling, CT, CAD, neural network.

Cite as: Zelter P.M., Kolsanov A.V., Chaplygin S.S., Pervushkin S.S. Visual and automatic evaluation of the volume of lung damage on computer tomography with pneumonia caused by COVID-19. *Bulletin of the Medical Institute Reaviz. Rehabilitation, Doctor and Health.* 2020;6(48):5–13. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2020.6.1>

Введение

Во время пандемии COVID-19 ведущим методом оценки объема поражения легких и динамического наблюдения явилась компьютерная томография (КТ) грудной клетки [1, 2]. Количество инфицированных людей в начале 2021 года превысило 90 миллионов человек, смертность составила, без малого, 2 миллиона [3]. В этих условиях произошел значительный рост торакальных исследований, особую значимость приобретает оценка паттернов КТ-исследований грудной клетки. Изменения легких достаточно вариабельны, однако большинство авторов сходятся во мнении, что наиболее частыми изменениями являются снижения воздушности по типу «матового стекла», а также сочетание этих изменений с консолидацией и ретикулярными изменениями. Наиболее часто COVID-пневмонии манифестируют на КТ как двухстороннее поражение с преимущественно субплевральной

локализацией при отсутствии плеврального выпота. При этом наиболее типично дорсальное расположение изменений с вовлечением нескольких долей легких, преимущественно нижних [4]. Применение КТ целесообразно для первичной оценки состояния органов грудной клетки у пациентов с тяжелыми прогрессирующими формами заболевания, а также для дифференциальной диагностики выявленных изменений и оценки динамики процесса. Ограничениями КТ в сравнении с рентгенографией являются недостаточная доступность технологии; недоступность исследования для части пациентов, находящихся на ИВЛ; высокая потребность в КТ-исследованиях для диагностики других заболеваний.

Оценка выраженности изменений в легких при КТ у пациентов с предполагаемой пневмонией COVID-19 может проводиться несколькими способами, такими как применение полуколичественных шкал,

«эмпирическая» визуальная шкала, основанная на визуальной оценке примерного объема уплотненной легочной ткани и с использованием программ компьютерной оценки плотности легких и составления карт плотности легочной паренхимы. «Эмпирическая» визуальная шкала основана на визуальной оценке примерного объема легочной ткани повышенной плотности. Согласно российским методическим рекомендациям выделяют 5 степеней тяжести: от КТ-1 (до 25 %) до КТ-4 (более 75 %), выделяя КТ-0 – с отсутствием поражения [2]. Данная стандартизированная системы оценки КТ рекомендована для улучшения коммуникации между радиологами и клиницистами путем преобразования радиологических результатов в стандартизованные степени, что позволяет быстро и последовательно принимать клинические решения, что особенно ценно во время высоких нагрузок на персонал. Тем не менее, эмпирическая шкала имеет очевидные ограничения в точности и воспроизводимости, вызванные различными факторами, такими как подготовка и опыт эксперта, объем и скорость производимых исследований, эмоциональное и когнитивное истощение и прочее. Компьютер-ассистированная диагностика, предназначенная для автоматического или полуавтоматического выделения и измерения объема зон «матового стекла» и консолидации, основанна на различных приемах, таких как искусственный интеллект, машинное обучение и применение архитектуры нейронных сетей [5–9], что позволяет идентифицировать уровень поражения легких при COVID-19 с аналогичной экспертной оценкой или даже лучшей производительностью. Кроме того, применение таких программ позволяет проводить оценку объема измененной легочной ткани более объективно, чем «эмпирический» метод.

Цель исследования: сравнить экспертную оценку объема различных КТ-паттернов у пациентов с COVID-19 и ав-

томатическую оценку, основанную на нейросетевых технологиях в разработанной системе на базе АПК «Автоплан».

Материалы и методы

В исследовании анализировались компьютерные томограммы грудной клетки 198 пациентов, которые были госпитализированы в COVID-госпиталь Клиник СамГМУ с апреля по декабрь 2020 года. Всем пациентам проводилась компьютерная томография легких на сканерах Toshiba Aquilion 32 и GE revolution EVO 128. Томография проводилась в рутинном режиме при напряжении на рентгеновской трубке 120 кВ. Визуальную оценку проводили врач с опытом в торакальной радиологии 8 лет. Оценивалось наличие и объем признаков: «матовое стекло», консолидация, ретикулярные изменения, «бульжная мостовая». Автоматический анализ компьютерных томограмм проводился в системе «Сервис автоматической оценки тяжести поражения легких у пациентов с COVID-19». Это программное обеспечение, разработанное в Институте инновационного развития СамГМУ в рамках предоставления гранта № 3/32-ИП/2020 от «14» сентября 2020. Сервис автоматической оценки тяжести поражения легких у пациентов с COVID-19 представляет собой программное обеспечение, написанное на языке C++, на базе нескольких типов алгоритмов, включая нейронные сети (CNN) и алгоритмы классификации по типу случайный лес (Random Forest). Подобное гибридное решение связано с тем, что одни алгоритмы могут более успешно разделять изображение на части (классы), учитывая характеристики нескольких классов, например, бронхов, сосудов, консолидации и матового стекла, и здорового легкого, а другие лучше справляются с двухклассовой классификацией на легкие и иное изображение, что позволяет сформировать бинарную маску легких вне зависимости от их плотностных характеристик, которые, естественно, имеют существенную волатильность для различных степеней коронавирусной пневмонии.

В программу загружались серии КТ-изображений грудной клетки с толщиной среза 1 мм. В автоматическом режиме выделялись области легких в целом, участки «матового стекла» и консолидации, реконструировались соответствующие трехмерные модели и производился расчет их объема. Результаты автоматического выделения легких и зон поражения, а также их трехмерные модели представлены на рис. 1.

Статистическая обработка результатов проводилась в программе STATISTICA 12.

Результаты

Наиболее частым распространенным симптомом при КТ легких являлось «матовое стекло». Этот паттерн представлен небольшим уплотнением паренхимы без ее объемного изменения, с частичным сохранением пневматизации, за счет чего наблюдаются бронхиальные и сосудистые структуры. Симптом был выявлен у всех обследуемых.

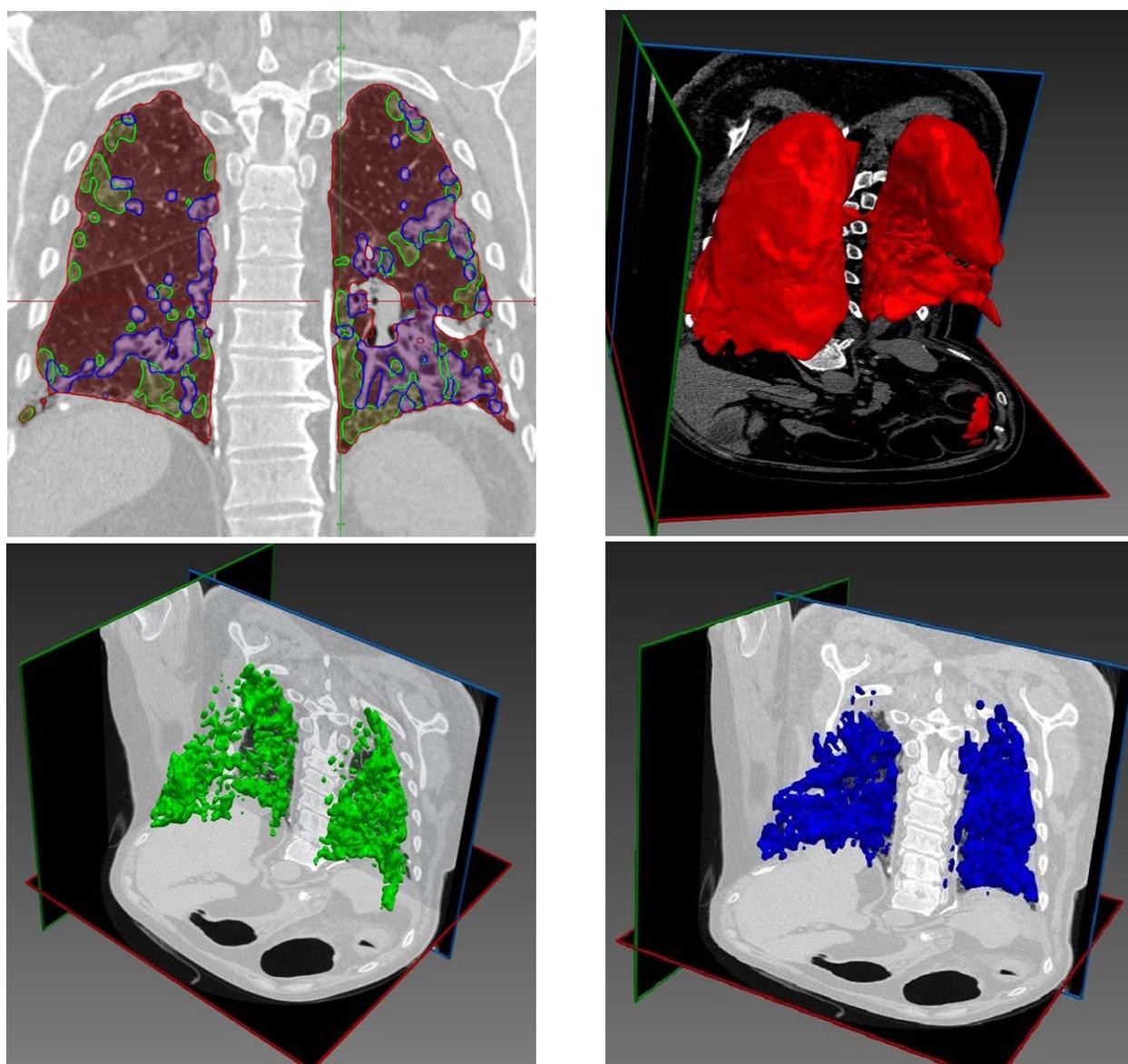


Рис. 1. Области общего объема легких (красный), участки «матового стекла» (зеленый) и консолидации (синий) на 2-мерном изображении и их 3D-модели

Вторым по частоте симптомом стала консолидация легочной ткани, он наблюдался у 125 пациента (63 %). На томограммах консолидация характеризуется выраженным повышением плотности паренхимы, на фоне чего бронхиальные структуры и сосуды не дифференцируются вследствие изоденности по сравнению с пораженной зоной.

Симптом «булыжной мостовой» представляет собой сочетание изменений по типу «матового стекла» и выраженного утолщения интерстициальных внутри- и междольковых септ. Данный симптом встречался у 34 пациента (17 %).

Ретикулярные изменения представляют собой утолщение внутри- и междольковых перегородок, а также множественные кри-

волинейные утолщения. Симптом наблюдался у 122 пациентов (62 %).

Описанные паттерны часто сочетались между собой как на рис. 2.

После оценки распространенности паттернов был проанализирован объем поражения. Пациенты были разделены на четыре группы согласно временным методическим рекомендациям. Распределение показано на диаграмме (рис. 3).

Средний уровень поражения по всем группам по данным визуального анализа составил 19,1 %. По данным автоматического анализа распространенность составила 11,1 %. На рис. 4 представлена диаграмма распространенности визуальной и автоматической оценок уровня поражения.

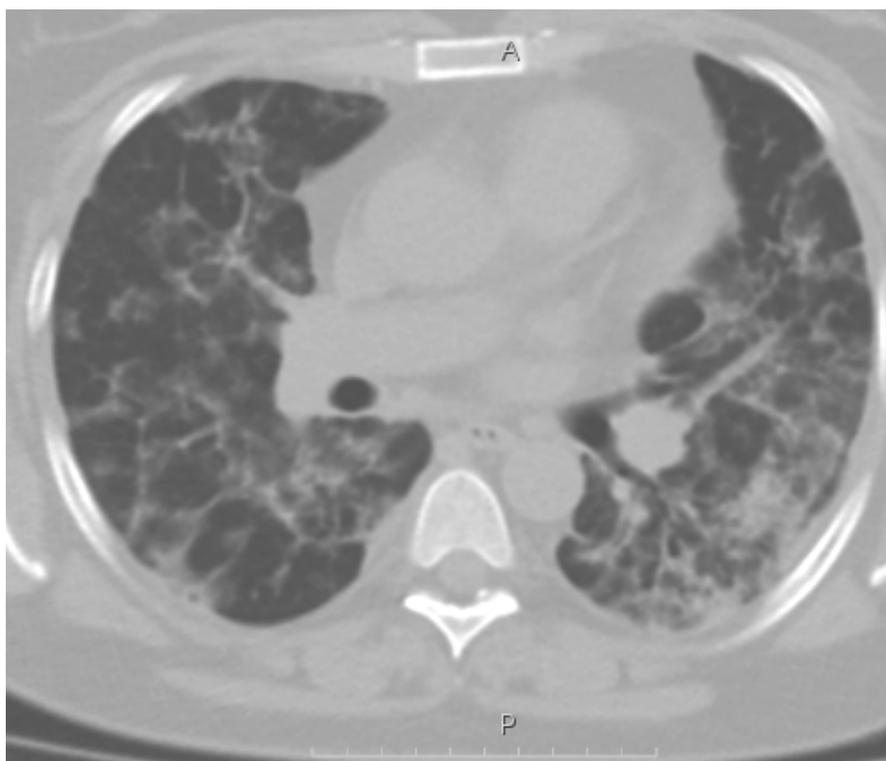


Рис. 2. КТ легких, «легочное окно», аксиальная плоскость. Определяются выраженные зоны «матового стекла» и консолидации, картина «булыжной мостовой» и ретикулярные изменения

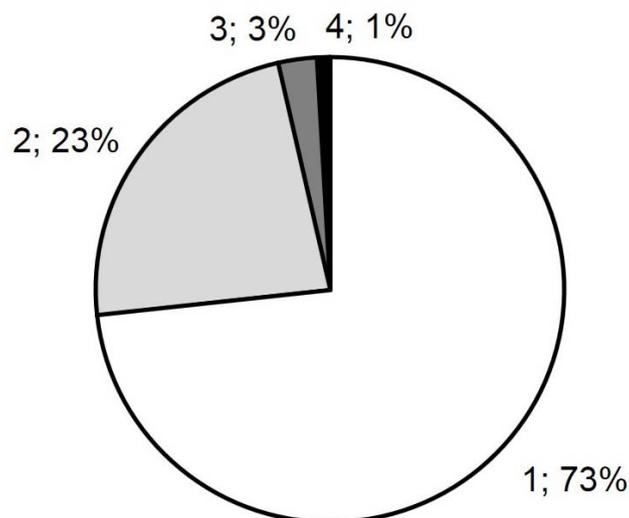


Рис. 3. Структура исследуемой группы по степеням (1–4) КТ-тяжести

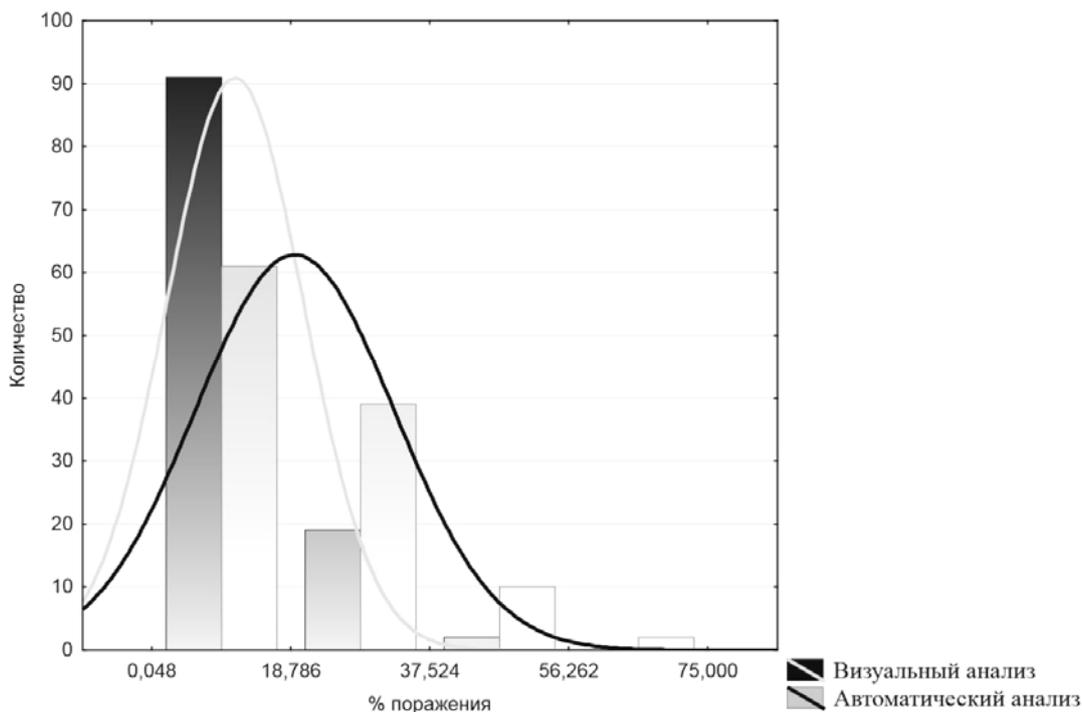


Рис. 4. Диаграмма распространенности визуальной и автоматической оценок процента

В большинстве случаев наблюдалась переоценка поражения при визуальном анализе. Пример такой переоценки показан на рис. 5: с обеих сторон определяются множественные зоны снижения воздушности по типу «матового стекла», определяются единичные зоны консолидации. «Эмпирическая» оценка уровня поражения экспертом составила 40 %, КТ-2. Результат автоматической обработки представлен на

рис. 6, 7: на двумерном изображении выделены зоны легкого (красным), участков «матового стекла» (зеленым) и консолидации (синим). Представлена трехмерная модель, выделенных зон и их объем: легкие – 4965 см³, «матовое стекло» – 825 см³ и консолидация – 5 см³. Таким образом общий объем поражения, измеренный программно, составил 16,7 %.

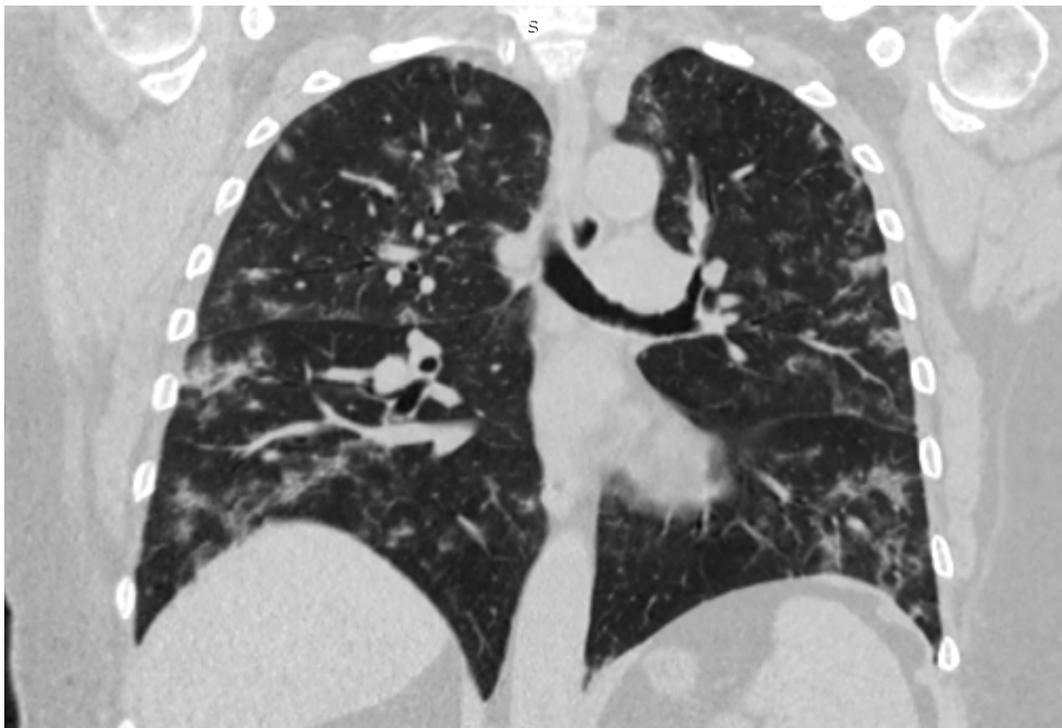


Рис. 5. Компьютерная томограмма легких, «легочное окно». 40 % по данным визуальной оценки

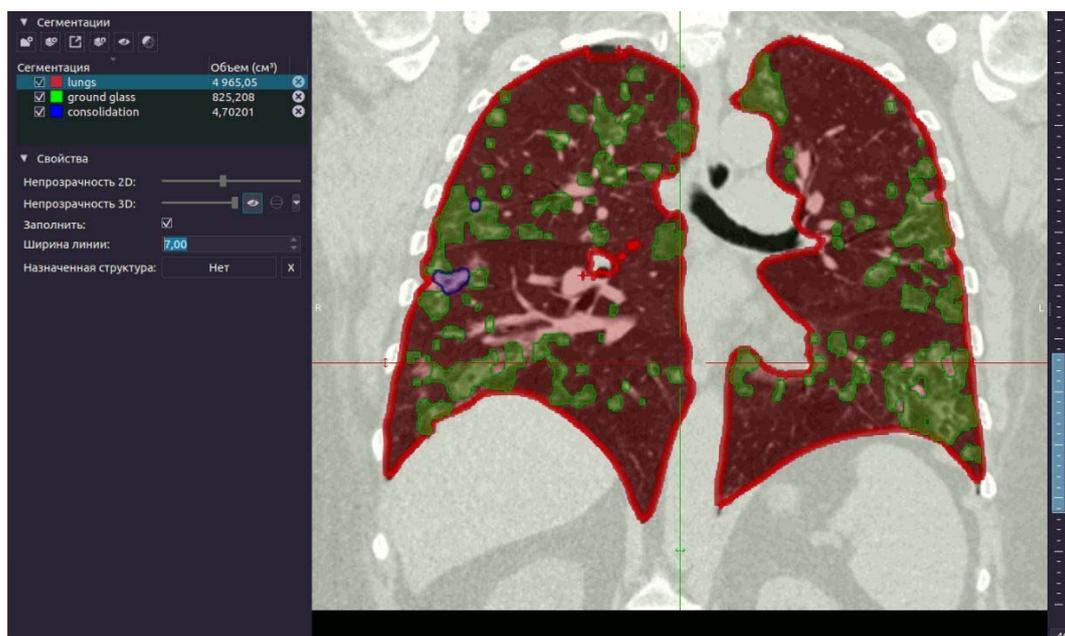


Рис. 6. Результат обработки в разработанной системе. Двухмерное изображение с выделенными зонами поражения

Вариабельность в уровне визуальной и автоматической оценке значительно разнятся по группам: в КТ-1 разница находит-

ся в пределах 5–7 %, при этом в КТ-3 может достигать десятков процентов, рис. 8.

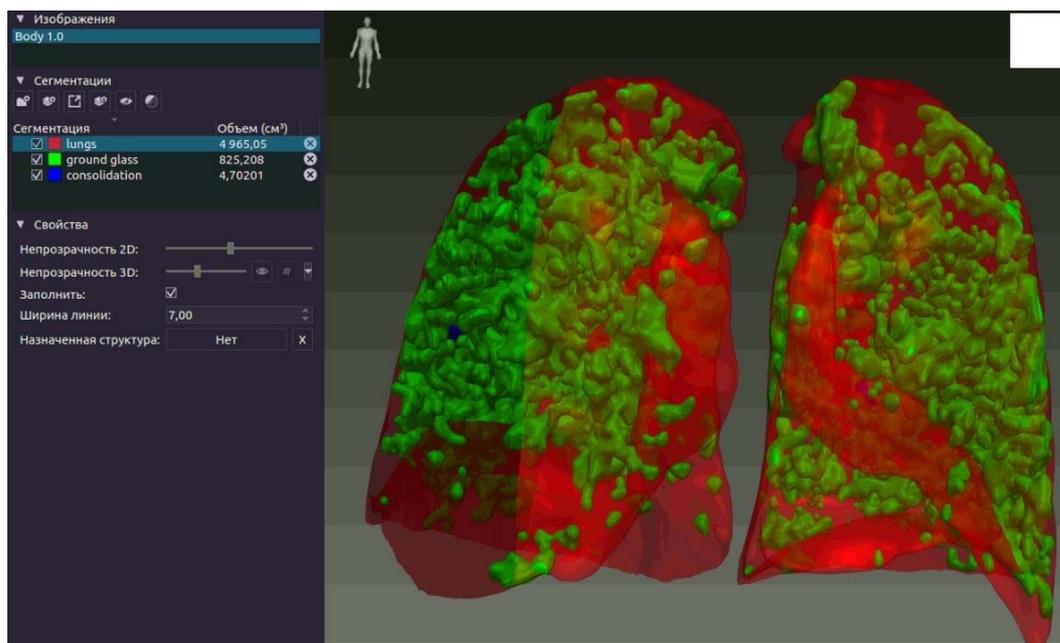


Рис. 7. Результат обработки в разработанной системе. Представлена трехмерная модель выделенных зон и их объем

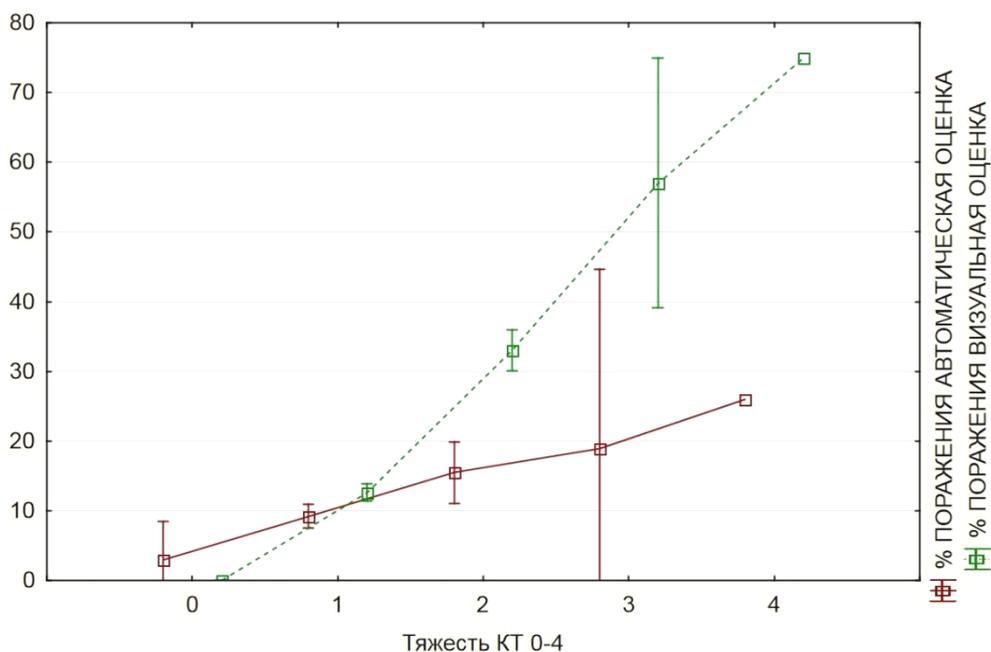


Рис. 8. Диаграмма средних значений визуальной и автоматической оценки объема поражения по группам тяжести. Отмечается рост разницы между автоматической и визуальными оценками пропорционально увеличению групп тяжести поражения

Выводы

1. Самый распространенный признак поражения легких по данным КТ в группе госпитализированных пациентов – снижение пневматизации по типу «матового стекла».
2. Большинство госпитализированных пациентов относятся к группе КТ-1.

3. Визуальная оценка объема поражения выражено выше по сравнению с автоматизированной оценкой, при которой информация носит более объективный характер.

4. Визуальный и автоматический анализ наиболее близки при небольших объемах поражения – КТ-1 и КТ-2.

Литература/References

- 1 Yang W, Sirajuddin A, Zhang X, Liu G, Teng Z, Zhao S et al. The role of imaging in 2019 novel coronavirus pneumonia (COVID-19). *European Radiology*, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06827-4> [Google Scholar]
- 2 Vremennye metodicheskie rekomendatsii Ministerstva zdravookhraneniya Rossiyskoy Federatsii «Profilaktika, diagnostika i lechenie novoy koronavirusnoy infektsii (COVID-19)», versiya 9 (26.10.20). <https://www.worldometers.info/coronavirus/> (data obrashcheniya 12.01.2021).
- 3 Ran Yang, Xiang Li, Huan Liu, Yanling Zhen, Xianxiang Zhang, Qiuxia Xiong et al. Chest CT Severity Score: An Imaging Tool for Assessing Severe COVID-19. *Radiology: Cardiothoracic Imaging* 2020 2:2.
- 4 Butt C, Gill J, Chun D, Babu BA. Deep learning system to screen coronavirus disease 2019 pneumonia. *Applied Intelligence* 2020. <https://doi.org/10.1007/s10489-020-01714-3> [Google Scholar]
- 5 Song Y, Zheng S, Li L, Zhang X, Zhang X, Huang Z et al. Deep learning Enables Accurate Diagnosis of Novel Coronavirus (COVID-19) with CT images. *medRxiv* 2020:2020.2002.2023.20026930. <https://doi.org/10.1101/2020.02.23.20026930> [Google Scholar]
- 6 Li L, Qin L, Xu Z, Yin Y, Wang X, Kong B et al. Artificial Intelligence Distinguishes COVID-19 from Community Acquired Pneumonia on Chest CT. *Radiology* 2020. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200905> [Google Scholar]
- 7 Wang S, Kang B, Ma J, Zeng X, Xiao M, Guo J et al. A deep learning algorithm using CT images to screen for Corona Virus Disease (COVID-19). *medRxiv* 2020:2020.2002.2014.20023028. <https://doi.org/10.1101/2020.02.14.20023028> [Google Scholar]
- 8 Jin S, Wang B, Xu H, Luo C, Wei L, Zhao W et al. AI-assisted CT imaging analysis for COVID-19 screening: Building and deploying a medical AI system in four weeks. *medRxiv* 2020:2020.2003.2019.20039354. <https://doi.org/10.1101/2020.03.19.20039354> [Google Scholar]

Авторская справка

Зельтер Павел Михайлович

кандидат медицинских наук, доцент, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии, Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия
e-mail: pzelter@mail.ru
ORCID 0000-0003-1346-5942

Колсанов Александр Владимирович

доктор медицинских наук, профессор, профессор РАН, заведующий кафедрой оперативной хирургии и клинической анатомии с курсом инновационных технологий, ректор, Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия
ORCID 0000-0002-4144-7090

Чаплыгин Сергей Сергеевич

кандидат медицинских наук, доцент, кафедра оперативной хирургии и топографической анатомии с курсом инновационных технологий, Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия
e-mail: chaplyginss@mail.ru
ORCID 0000-0002-9027-6670

Первушкин Сергей Сергеевич

ассистент, кафедра лучевой диагностики и лучевой терапии, Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия
e-mail: sergey.pervushkin@gmail.com
ORCID 0000-0002-7574-283X

Статья поступила 17.10.2020
Одобрена после рецензирования 24.10.2020
Принята в печать 13.11.2020

Received October, 17th 2020
Approved after reviewing October, 24th 2020
Accepted for publication November, 13th 2020