

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-23-31>
УДК 616.24-002.16-073.75

Возможности денситометрии в оценке диффузных изменений паренхимы легких (обзор литературы)

М.М. Сучилова¹, И.А. Блохин¹, М.Р. Коденко¹, Р.В. Решетников¹,
А.Е. Николаев¹, О.В. Омелянская¹, А.В. Владзимирский^{1, 2}

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы,
127051, Российская Федерация, Москва, ул. Петровка, 24, стр. 1

² Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет),
119991, Российская Федерация, Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2

Аннотация

Данные, полученные при проведении компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки, можно проанализировать не только визуально, но и численно. Количественная оценка позволяет более точно и объективно оценить степень тяжести заболевания. Наиболее изученным способом количественной оценки данных КТ является денситометрия – автоматический анализ плотностных показателей легких, выраженных в единицах Хаунсфилда. Данный обзор посвящен типам заболеваний, для которых возможна формализация диагностической задачи и применение денситометрии, а также ограничениям метода и способам их преодоления.

Ключевые слова:

денситометрия, компьютерная томография, низкодозная компьютерная томография.

Конфликт интересов:

авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Прозрачность финансовой деятельности:

Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР «Научное обоснование методов лучевой диагностики опухолевых заболеваний с использованием радиомического анализа», (№ ЕГИСУ: № 123031500005-2) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 г. № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.

Для цитирования:

Сучилова М.М., Блохин И.А., Коденко М.Р., Решетников Р.В., Николаев А.Е., Омелянская О.В., Владзимирский А.В. Возможности денситометрии в оценке диффузных изменений паренхимы легких (обзор литературы). *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2023;39(3):23–31. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-23-31>.

Possibilities of densitometry in the assessment of diffuse changes in the lung parenchyma

Maria M. Suchilova¹, Ivan A. Blokhin¹, Maria R. Kodenko¹,
Roman V. Reshetnikov¹, Alexander E. Nikolaev¹, Olga V. Omelyanskaya¹,
Anton V. Vladzimirsky^{1, 2}

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department,
24, Petrovka str., bld. 1, Moscow, 127051, Russian Federation

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University),
8-2, Trubetskaya str., Moscow, 119991, Russian Federation

Abstract

The data obtained from chest computed tomography (CT) can be analyzed not only visually, but also quantitatively. Quantitative assessment allows a more accurate and objective evaluation of the disease severity. Densitometry is the most researched way to quantify CT data – automatic analysis of lung densities expressed in Hounsfield units. This review is focused on the types

✉ Сучилова Мария Максимовна, e-mail: SuchilovaMM@zdrav.mos.ru.

of diseases that can be characterized by the formalization of the diagnostic task and application of densitometry, as well as on the limitations of the method and the ways to cope with them.

Keywords:	densitometry, computed tomography, low-dose computed tomography.
Conflict of interest:	the authors do not declare a conflict of interest.
Financial disclosure:	This paper was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled "Scientific evidence for using radiomics-guided medical imaging to diagnose cancer", No. 123031400009-1", (USIS No. 123031500005-2) in accordance with the Order No. 1196 dated December 21, 2022 «On approval of state assignments funded by means of allocations from the budget of the city of Moscow to the state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Moscow Health Care Department, for 2023 and the planned period of 2024 and 2025» issued by the Moscow Health Care Department.
For citation:	Suchilova M.M., Blokhin I.A., Kodenko M.R., Reshetnikov R.V., Nikolaev A.E., Omelyanskaya O.V., Vladzimirsky A.V. Possibilities of densitometry in the assessment of diffuse changes in the lung parenchyma. <i>The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2023;38(3):23–31. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-38-3-23-31 .

Введение

Интерпретация исследований в медицинской визуализации сопряжена с большой субъективностью, связанной с вариабельностью признаков и систем их оценки [1–3]. Это в значительной степени касается и компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки – золотого стандарта неинвазивной оценки легочной паренхимы при ряде заболеваний [4]. Решением проблемы низкой согласованности оценок между разными врачами-рентгенологами может быть формализация диагностической задачи и количественная оценка патологических признаков [5]. Это позволяет выявить заболевания на ранних стадиях, более точно и объективно оценить степень их тяжести, динамику течения патологического процесса [6, 7].

Наиболее изученным способом количественной оценки данных КТ является автоматический анализ плотностных показателей легких, выраженных в единицах Хаунсфилда (Hounsfield units, HU) – денситометрия. Первые исследования по применению этого метода опубликованы еще для пошаговых компьютерных томографов [8], однако денситометрия не получила широкого практического распространения и не закреплена на уровне клинических рекомендаций. Это означает, что несмотря на снижение влияния операторо-зависимых факторов и достаточный объем научных исследований, существуют другие факторы, сдерживающие ее внедрение в клиническую практику [9].

Цель настоящего литературного обзора: познакомить читателя с типами заболеваний, для которых возможна формализация диагностической задачи и применение денситометрии, а также отметить ограничения метода и способы их преодоления.

Материал и методы

Поиск выполнялся по ключевым словам: «lung densitometry», «ct densitometry» «fibrosis», «emphysema», «program analysis», «программный анализ», «эмфизема», «фиброз», «компьютерная томография» «денситометрия легких» «КТ денситометрия» в научных базах данных PubMed, eLibrary и с использованием поискового сервиса Google Scholar за период с 2018 по 2022 гг. Двумя авторами независимо производился анализ сначала названия, а затем абстракта на предмет соответствия теме литературного обзора; включались оригинальные исследования и метаанализы, исключались клинические случаи, литературные обзоры и тезисы конференций, кроме во-

просов, требующих оценки общего состояния дел в рассматриваемой области. Списки источников включенных публикаций дополнительно анализировались на предмет релевантных публикаций без ограничения по временным рамкам. Последняя дата поиска – 12.01.2023 г.

Результаты

Всего в литературный обзор включено 66 публикаций. Пик публикационной активности для оригинальных исследований пришелся на 2019 г., метаанализов – на 2018 г.

Формализация диагностической задачи для компьютерного зрения

Денситометрия представляет собой пример алгоритма компьютерной диагностики (computer-aided detection, CAD), выявляющего по заранее указанным критериям наличие или отсутствие целевого признака [10]. При этом подходе используют пороговые значения рентгенологической плотности для формализации диагностической задачи выявления или подсчета степени выраженности патологического признака [11].

По типу взаимодействия тканей с рентгеновским излучением можно выделить заболевания, КТ-признаки которых характеризуются повышенной или пониженной КТ-плотностью [12, 13] относительно нормальной легочной ткани [14]. При этом важно помнить о том, что использование порогового метода позволяет количественно оценить патологические изменения, но не установить само заболевание [11].

Заболевания с пониженной плотностью легочной ткани

Пониженная КТ-плотность легочной ткани наблюдается, например, при эмфиземе и кистозных заболеваниях [13, 15]. При этом наиболее изучены возможности КТ-денситометрии для эмфиземы легких [16, 17]. Эмфизема легких определяется как повышение воздушности легких, обусловленное необратимой деструкцией межальвеолярных перегородок и эластичных волокон легочной ткани [18]. Эмфизема выявляется при хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) в сочетании с утолщением стенок бронхов и наличием воздушных ловушек на КТ [19]. Наличие эмфиземы, ограничения воздушного потока, увеличение степени тяжести и частоты обострений ХОБЛ связаны с повышенным риском разви-

тия рака легкого [20–22]. Возможно, сочетание характерных КТ-признаков эмфиземы, хронического характера и высокой социальной значимости, а также наличия дешевого и доступного метода подтверждения диагноза – спирометрии обуславливают интерес к ее оценке с помощью денситометрии [23, 24]. В отношении эмфиземы было показано, что денситометрия является более быстрым, воспроизводимым и точным способом оценки, чем визуальная оценка [25].

Количественная оценка плотности легочной ткани в когорте пациентов с тяжелой эмфиземой позволяет выявить даже незначительные паренхиматозные изменения (к которым нечувствительна спирометрия), что делает ее эффективным методом выявления динамики эмфиземы. Кроме того, ряд параметров (например, индекс эмфиземы на вдохе) позволяет провести раннюю дифференциальную диагностику между ХОБЛ и астмой [26]. Индекс эмфиземы определяется как относительная площадь/индекс эмфиземы (emphysema index, relative area, RA) легочной ткани в каждом срезе КТ, заполненная пикселями, имеющими плотность ниже –950 HU при полном вдохе [27]. Еще одним важным денситометрическим показателем для оценки эмфиземы является перцентильный показатель (percentile index, Perc 15). RA-950 HU и Perc15 являются наиболее признанными показателями эмфиземы, поскольку оба коррелируют с данными гистологических исследований, а также наиболее широко используются в клинических исследованиях [28].

Заболевания с повышенной плотностью легочной ткани

Повышенная КТ-плотность легочной ткани наблюдается при многих заболеваниях, например, при идиопатическом легочном фиброзе, склеродермии, ревматоидном артрите, изменениях после лучевой терапии [12, 29–32]. При этом для КТ-диагностики значение имеет не только наличие зон повышенной плотности, но и их пространственное распределение, а также присутствие других признаков [33].

Наиболее изученным заболеванием с повышенной плотностью легочной ткани в контексте КТ-денситометрии является идиопатический легочный фиброз (ИЛФ) – хроническое заболевание, встречающееся по всему миру

и ассоциированное с низкой выживаемостью (3,8 лет для пациентов 65 лет и старше) [34]. В настоящее время не существует вмешательств, позволяющих предотвратить или уменьшить объем поражения при ИЛФ [35]. Диагноз ИЛФ устанавливается для большинства пациентов, как правило, в 60–70 лет, в то время как более раннее выявление ИЛФ способствует снижению смертности у пациентов за счет своевременного назначения антифибротических препаратов [36].

Результаты количественной оценки динамики изменений показателей фиброза легких у пациентов с ИЛФ (6 мес. от первоначального КТ-исследования) могут предсказать результаты выживаемости без прогрессирования [12, 37–39]. Количественная оценка параметров ИЛФ по данным КТ превосходит визуальную оценку в определении предполагаемой смертности [40]. Также анализ плотности легких может облегчить дифференциальную диагностику ИЛФ и неспецифической интерстициальной пневмонии при неоднозначной клинико-рентгенологической картине [41].

С помощью находящейся в открытом доступе программы для анализа и обработки изображений ImageJ Software (National Institutes of Health, США) было проведено исследование взаимоотношения результатов количественной оценки плотности легочной ткани и показателей функции легких у больных с синдромом комбинации легочного фиброза и эмфиземы (Combined Pulmonary Fibrosis and Emphysema, CPFE), встречающимся примерно у 8–50% больных ИЛФ [42]. Результаты исследования показали, что ИЛФ и эмфизема существуют независимо друг от друга, но при этом коррелируют с нарушением газового обмена [43].

Применение количественной оценки плотности легочной ткани также возможно для выявления и локализации поражения, а также сопоставления с дозой облучения при постлучевом поражении легочной ткани [31].

Ограничения КТ-денситометрии

Несмотря на обоснованность применения подхода, в ряде сценариев у КТ-денситометрии есть ряд ограничений, не связанных с целевым патологическим процессом, оказывающих существенное влияние на результаты измерения рентгеновской плотности легочной ткани [44–46] (табл. 1).

Таблица 1. Сопутствующие факторы, искажающие результаты КТ-денситометрии легочной ткани

Table 1. Associated factors distorting lung CT densitometry results

Источники Sources	Параметр Option	Пояснение Comment
Параметры КТ сканирования CT scanning parameters	Проведение исследования CT scanning	Повышение плотности легочной ткани различной интенсивности в задних отделах при положении пациента на спине или в передних отделах в prone-позиции Increased lung density of varying intensity in the posterior segments when the patient is supine or in the anterior segments in prone position
	Коллимация, киловольтаж Collimation, kilovoltage	Достоверность результатов напрямую зависит от качества изображения The reliability of the results depends directly on the quality of the scans
	Алгоритм реконструкции, толщина среза и др. Reconstruction algorithm, slice thickness, etc.	В связи с неоднородным распределением эмфизематозной/фиброзной ткани в легком требуется максимальная детализация области интереса The maximum detailization of the area of interest is required due to the heterogeneous distribution of emphysematous/fibrotic tissue in the lung
Пациент Patient	Респираторный статус пациента Patient respiratory status	Например, у здорового человека плотность паренхимы легких на вдохе и на выдохе будет варьировать, а при повышенной воздушности легочной ткани при эмфиземе вдох существенно не влияет на результаты денситометрии легких For example, in a healthy person, the density of the lung parenchyma on inspiration and on exhalation will vary, and with increased airiness of emphysematous lung tissue, inspiration does not significantly affect the results of lung densitometry

Окончание табл. 1
End of table 1

Источники Sources	Параметр Option	Пояснение Comment
Пациент Patient	Возраст пациента Patient's age	С возрастом увеличивается количество участков пониженной плотности (в средних и нижних сегментах легких) The number of areas with decreased density (in the middle and lower segments of the lungs) increases with age
	Артефакты Artefacts	Дыхания, сердцебиения, движения Breathing, heartbeat, movements
Алгоритм автоматического определения плотности ткани легкого Automatic determination algorithm for lung tissue density	Ошибки сегментации Segmentation errors	Неполная/ошибочная сегментация легочной паренхимы и бронхиального дерева (например, неточность выделения целевого органа в поле обзора) Incomplete/incorrect segmentation of the pulmonary parenchyma and bronchial tree (e.g., inaccuracy of target organ in the field of view)

Примечание: КТ – компьютерная томография.

Note: CT – computed tomography.

С учетом распространения программ скрининга рака легкого [47] появляется возможность денситометрического анализа низкодозной КТ (НДКТ). Однако подобный анализ сопряжен с риском девиации получаемых результатов из-за повышенного шума на изображениях [48] и может потребовать использования специфических для НДКТ пороговых значений рентгеновской плотности [49].

Для максимального нивелирования влияния искажающих факторов (см. табл. 1) на результаты денситометрии как при КТ, так и при НДКТ, возможно применение алгоритмов глубокого обучения с этапом нормализации для анализа результатов КТ-исследований [50, 51]. Также нормализация позволяет проводить сравнение результатов исследований, выполненных в разных учреждениях на томографах различных производителей и с разными параметрами реконструкции [51]. Примером подобного подхода, нивелирующего вариабельность протоколов сканирования, является алгоритм глубокого обучения для подсчета эмфиземы по данным НДКТ, предложенный Y. Nagaraj и соавт. [52]. Он способен определять эмфизему с чувствительностью 88% при пороговом значении плотности –950 HU [52].

Использование подходов машинного обучения для нормализации исследований позволяет также проводить количественную оценку эмфиземы в динамике при использовании разных протоколов сканирования. S.H. Bak и соавт. сравнивали результаты измерения эмфиземы по данным

пациентов, прошедших как КТ-, так и НДКТ-исследование с интервалом 1–2 года. С помощью алгоритма глубокого обучения было показано, что НДКТ может применяться для количественной оценки тяжести эмфиземы при использовании реконструкции с легочным керналом; наблюдалась сильная корреляция с данными КТ с мягкотканым керналом, $r = 0,96$ [53]. При этом итоговые индексы эмфиземы значительно различались, однако неизвестно, является ли разница клинически значимой. В настоящее время оценка индекса эмфиземы в динамике одобрена на уровне клинических рекомендаций при терапии ХОБЛ, вызванной дефицитом альфа1-антитрипсина [54].

Высокая вариабельность широкого спектра заболеваний легких, включая сопровождающиеся одновременно повышением и понижением плотности легочной ткани, а также сложностей количественной оценки при одновременном наличии нескольких патологических процессов, влияющих на плотность легочной ткани, ограничивает формализованный денситометрический анализ [55]. Поэтому следующим шагом автоматического количественного анализа КТ-изображений стал переход от пороговых критериев к гистограмме КТ-плотности (табл. 2) [56]. Пример сегментации и гистограммы легких по данным КТ представлен на рисунке 1. Однако использование большего числа количественных критериев усугубляет проблему отсутствия стандартизации КТ-анализа.

Таблица 2. Диагностически значимые метрики гистограммы плотности легочной ткани при фиброзе и эмфиземе легких
Table 2. Diagnostically significant metrics of lung CT density histogram for pulmonary fibrosis and emphysema

Показатели Indicators	Определение Definition	Эмфизема Emphysema	Фиброз Fibrosis
Средняя плотность легочной ткани (Mean lung attenuation, MLA)	Применяется для оценки легочного фиброза и эмфиземы Suitable for evaluation of pulmonary fibrosis and emphysema	Уменьшается Decreases	Увеличивается Increases
Относительная область/индекс эмфиземы (emphysema index, relative area, RA-950 HU)	Процент легкого со значением плотности ниже заданного порога (HU) Proportion of lung with a density value below the specified threshold (HU)	Увеличивается Increases	Не применимо, пересечение диапазонов значений рентгенологической плотности при фиброзе со значениями плотности для нормальной легочной ткани Not applicable, intersection of radiological density ranges for fibrosis with density values for normal lung tissue
Перцентильный показатель (percentile index, Perc 15)	Значение (HU), ниже которого распределен данный процент всех вокселей The value (HU) below which the given percentage of all voxels is distributed	Уменьшается Decreases	Не применимо, пересечение диапазонов значений рентгенологической плотности при фиброзе со значениями плотности для нормальной легочной ткани Not applicable, intersection of radiological density ranges for fibrosis with density values for normal lung tissue
Асимметрия Asymmetry	Отклонение от симметрии гистограммы Deviation from histogram symmetry	Варирует в зависимости от выраженности эмфиземы Varies according to the severity of emphysema	Отрицательная Negative
Экссесс Kurtosis	Острота пика распределения Sharpness of the distribution peak	Не применимо Not applicable	Уменьшается Decreases

Примечание: КТ – компьютерная томография.

Note: CT – computed tomography.

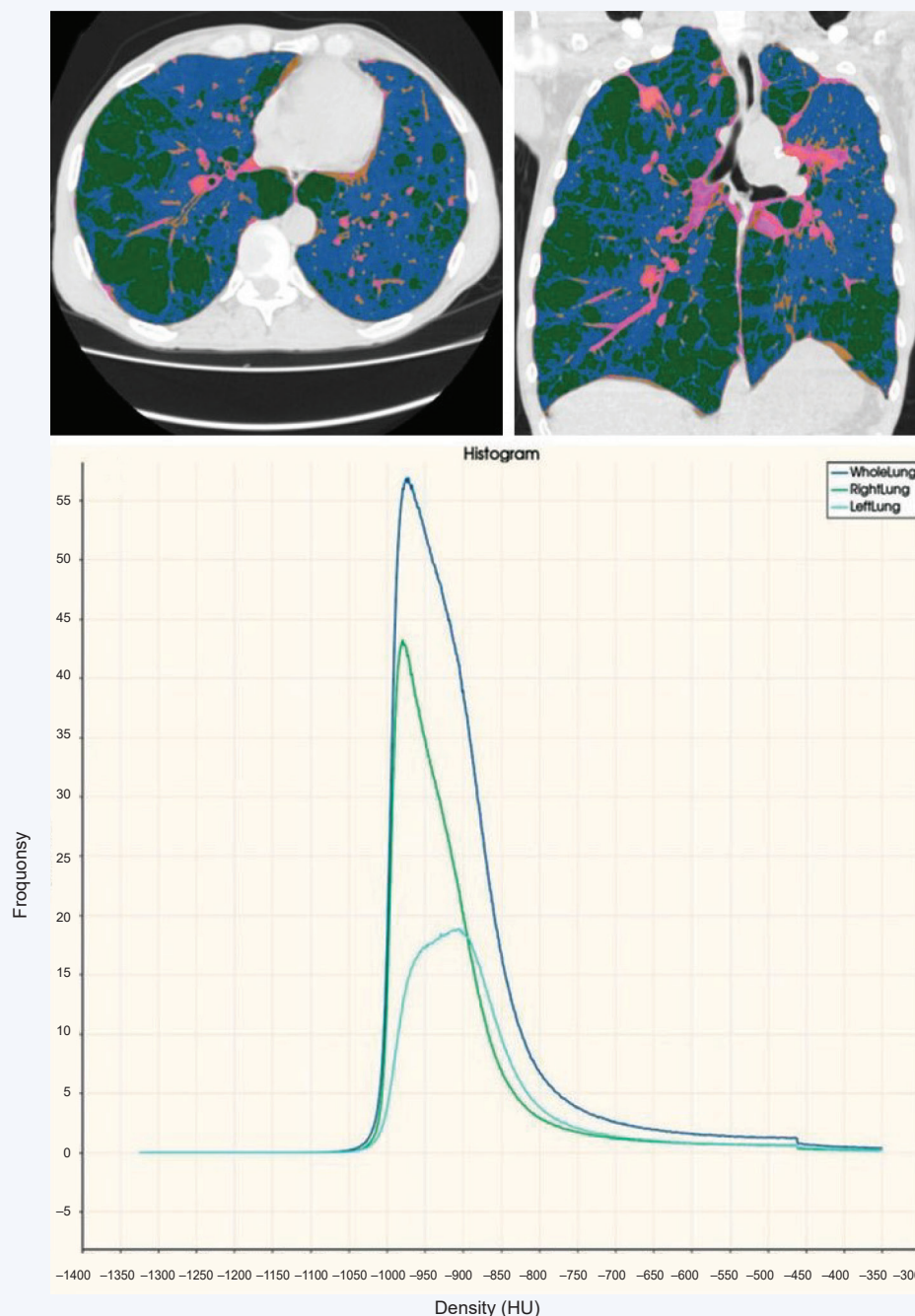


Рис. 1. Пример сегментации легких пациента с эмфиземой (эмфизематозные участки выделены зеленым цветом) по данным КТ, использована находящаяся в свободном доступе программа 3D slicer 5.2.1 и доступные к ней расширения chest imaging platform, lung ct segmenter-lung ct analyzer. На графике представлены гистограммы плотности обоих легких (синий цвет), гистограмма плотности для левого легкого (бирюзовый цвет) и гистограмма плотности правого легкого (зеленый цвет)

Примечание: КТ – компьютерная томография.

Fig. 1. An example of lung segmentation of a patient with emphysema (emphysematous areas are green) according to CT, using 3D slicer 5.2.1 and its extensions chest imaging platform, lung ct segmenter-lung ct analyzer. The graph shows density histograms of both lungs (blue), for the left lung (turquoise) and for the right lung (green)

Note: CT – computed tomography.

Несмотря на теоретическую простоту использования и экономию времени, КТ-денситометрия и любой алгоритм автоматизированного анализа медицинских изображений сам по себе не служит заменой врачу-рентгенологу, а является вспомогательным инструментом в его работе [56, 57]. Например, при наличии только одного КТ-исследования возможен расчет процента пораженной легочной тка-

ни для оценки степени тяжести инфекционных заболеваний [58, 59]. При оценке нескольких КТ-исследований в динамике денситометрия позволяет оценить прогрессирование эмфиземы с точностью до 95% [28]. Также важно отметить, что использование КТ для динамического наблюдения и денситометрического анализа полученных данных может быть сопряжено с повышенным риском от

ионизирующего излучения, и, следовательно, особенно актуальны в этом случае способы мониторинга дозовой нагрузки [60].

Перспективы КТ-денситометрии

Среди методов автоматизации анализа медицинских изображений в настоящее время лидирующие позиции удерживают алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ). Этот термин включает в себя в том числе нейронные сети и математические алгоритмы компьютерного зрения, которые имеют некоторые отличия:

Использование математических алгоритмов (Computer-aided diagnosis или CAD) предполагает явное обозначение ключевых параметров области интереса (например, характерные размеры и рентгеновская плотность очага или метрики гистограммы плотности), которые необходимо определить до обработки (рис. 2). Преимуществом такого подхода является возможность прямого анализа данных без предварительного обучения, недостатком – отсутствие гибкости параметров. Математические алгоритмы имеют ограниченную область применения, поскольку хорошие результаты достижимы только для патологий с явными количественными признаками.

Нейронные сети (рис. 3) определяют ключевые параметры самостоятельно в процессе обучения, поэтому качество работы сети напрямую зависит от объема и репрезентативности обучающей выборки [61]. Преимуществом нейронных сетей является использование неявных

признаков, которые трудно формализовать (например, паттерны при COVID-19 или вид гистограммы плотности), недостатком – высокие требования к качеству и сбалансированности обучающей выборки, а также существенные трудности в определении причин некорректной работы алгоритма [62].

Автоматическая денситометрия предполагает извлечение количественных признаков области интереса на КТ-изображении. Эти признаки могут иметь явную интерпретацию (см. табл. 2), в этом случае применимы CAD-алгоритмы. Однако и сама форма гистограммы может служить своеобразным характерным паттерном патологии, и, следовательно, для ее классификации применимы нейронные сети [63]. Среди нейронных сетей, используемых для подобных задач, наибольшую популярность приобрели сверточные нейронные сети.

Сверточная нейронная сеть – это тип обработки информации, при котором существует несколько этапов (слоев): первичный – на котором в сеть поступают исходные данные, происходит выделение признаков; основной – на котором специфическими математическими методами (свертка) происходит отбор наиболее значимых признаков; заключительный – на котором данным назначается итоговый класс [64]. Свертка в данном случае – это математическая операция, которая численно характеризует сходство объектов по конкретному признаку, например, встречаемости формы гистограммы или положения ее пика.

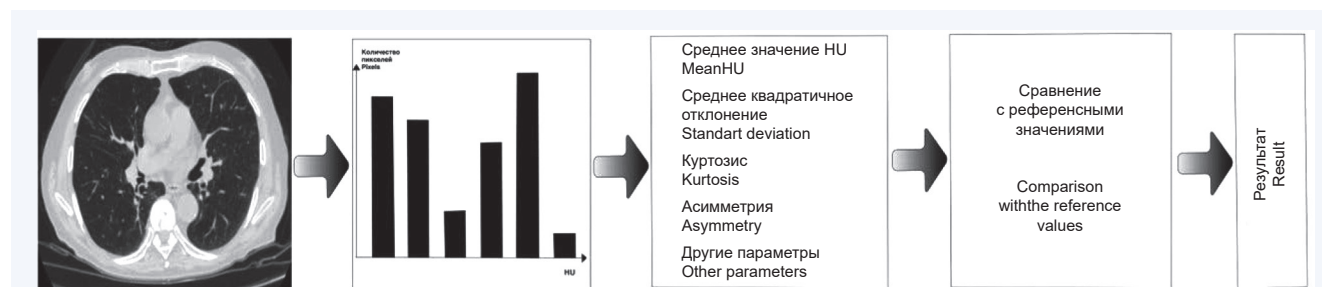


Рис. 2. Алгоритм оценки изменений плотности легочной ткани при помощи компьютерного зрения
Fig. 2. Algorithm for assessing changes in lung tissue density using computer vision

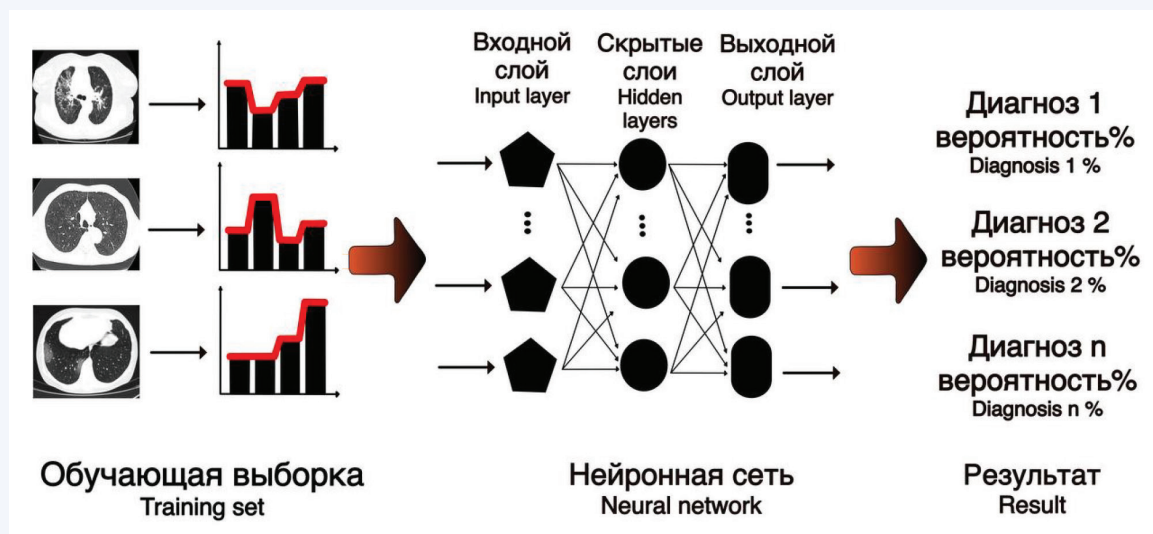


Рис. 3. Алгоритм оценки изменений плотности легочной ткани при помощи нейронной сети
Fig. 3. Algorithm for assessing changes in lung tissue density using a neural network

Стоит отметить большое число алгоритмов, проводящих автоматическую диагностику патологий легочной паренхимы без использования денситометрических характеристик [65]. Такие алгоритмы обычно реализованы с помощью нейронных сетей и работают по принципу обучения на определенных выборках (изображение и диагноз к нему). Эффективность работы таких программ также определяется объемом и репрезентативностью обучающих выборок. Однако отследить и скорректировать ошибки работы таких алгоритмов почти невозможно: их логика не имеет определенных признаков и никак не связана с денситометрией – сеть классифицирует изображение в целом. Следовательно, нет возможности оценить стабильность и даже уровень доверия к результатам обработки [66]. Такое программное обеспечение может

быть полезно в работе врача при условии многократных тестирований надежности и воспроизводимости результатов, что на практике зачастую сложно реализовать. По этой причине данный тип алгоритмов не был рассмотрен в данной статье.

Заключение

При проведении КТ органов грудной клетки возможна не только визуальная (субъективная), но и количественная оценка патологических изменений легочной ткани при помощи автоматической денситометрии. Преобразование данных КТ исследований в количественные данные, их автоматический анализ и клиническая интерпретация могут помочь врачу-рентгенологу объективно и более точно оценить результаты исследований.

Литература / References

1. Mascalchi M., Diciotti S., Sverzellati N., Camiciottoli G., Ciccostoto C., Falaschi F. et al. Low agreement of visual rating for detailed quantification of pulmonary emphysema in whole-lung CT. *Acta Radiol.* 2012;53(1):53–60. DOI: 10.1258/ar.2011.110419.
2. Ng C.S., Desai S.R., Rubens M.B., Padley S.P., Wells A.U., Hansell D.M. Visual quantitation and observer variation of signs of small airways disease at inspiratory and expiratory CT. *J. Thorac. Imaging.* 1999;14(4):279–285. DOI: 10.1097/00005382-199910000-00008.
3. Siemieniowicz M.L., Kruger S.J., Goh N.S., Dobson J.E., Spelman T.D., Fabiny R.P. Agreement and mortality prediction in high-resolution CT of diffuse fibrotic lung disease. *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 2015;59(5):555–563. DOI: 10.1111/1754-9485.12314.
4. Walsh S.L.F., Hansell D.M. High-resolution CT of interstitial lung disease: A continuous evolution. *Semin. Respir. Crit. Care Med.* 2014;35(1):129–144. DOI: 10.1055/s-0033-1363458.
5. Asil K., Kalaycıoğlu B., Mahmutyazıcıoğlu K. Individual factors affecting computed tomography densitometry measurements. *The International Annals of Medicine.* 2018;2(12). DOI: 10.24087/IAM.2018.2.12.680.
6. Ringheim H., Thudium R.F., Jensen J.S., Rezahosseini O., Nielsen S.D. Prevalence of emphysema in people living with human immunodeficiency virus in the current combined antiretroviral therapy era: A systematic review. *Front. Med. (Lausanne).* 2022;9:897773. DOI: 10.3389/fmed.2022.897773.
7. Romei C., Castellana R., Conti B., Bemì P., Taliani A., Pistelli F. et al. Quantitative texture-based analysis of pulmonary parenchymal features on chest CT: comparison with densitometric indices and short-term effect of changes in smoking habit. *Eur. Respir. J.* 2022;60(4):2102618. DOI: 10.1183/13993003.02618-2021.
8. Lagrange J.L., Brassard N., Costa A., Aubanel D., Héry M., Bruneton J.N. et al. CT measurement of lung density: the role of patient position and value for total body irradiation. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 1987;13(6):941–944. DOI: 10.1016/0360-3016(87)90111-8.
9. Lynch D.A. Progress in imaging COPD, 2004–2014. *Chronic Obstr. Pulm. Dis.* 2014;1(1):73–82. DOI: 10.15326/jcopdf.1.1.2014.0125.
10. Yanase J., Triantaphyllou E. A systematic survey of computer-aided diagnosis in medicine: Past and present developments. *Expert Systems with Applications.* 2019;138:112821. DOI: 10.1016/j.eswa.2019.112821.
11. Bankman I. (ed.) Handbook of medical image processing and analysis. 2nd ed. San Diego, United States: Elsevier Science Publishing Co Inc.; 2008:1000.
12. Loeh B., Brylski L.T., von der Beck D., Seeger W., Krauss E., Bonniaud P. et al. Lung CT densitometry in idiopathic pulmonary fibrosis for the prediction of natural course, severity, and mortality. *Chest.* 2019;155(5):972–981. DOI: 10.1016/j.chest.2019.01.019.
13. Hoffman E.A., Ahmed F.S., Baumhauer H., Budoff M., Carr J.J., Kronmal R. et al. Variation in the percent of emphysema-like lung in a healthy, nonsmoking multiethnic sample. The MESA lung study. *Ann. Am. Thorac. Soc.* 2014;11(6):898–907. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201310-364OC.
14. Walsdorff M., Van Duylen A., Gevenois P.A. Effect of total lung capacity and gender on CT densitometry indexes. *BJR.* 2016;89(1058):20150631. DOI: 10.1259/bjr.20150631.
15. Avila N.A., Kelly J.A., Dwyer A.J., Johnson D.L., Jones E.C., Moss J. Lymphangioleiomyomatosis: Correlation of qualitative and quantitative thin-section CT with pulmonary function tests and assessment of dependence on pleurodesis. *Radiology.* 2002;223(1):189–197. DOI: 10.1148/radiol.2231010315.
16. Crossley D., Renton M., Khan M., Low E.V., Turner A.M. CT densitometry in emphysema: a systematic review of its clinical utility. *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.* 2018;13:547–563. DOI: 10.2147/COPD.S143066.
17. Jou S.S., Yagihashi K., Zach J.A., Lynch D., Suh Y.J. Relationship between current smoking, visual CT findings and emphysema index in cigarette smokers. *Clinical Imaging.* 2019;53:195–199. DOI: 10.1016/j.clinimag.2018.10.024.
18. Эмфизема легких. Большая российская энциклопедия – электронная версия. Accessed February 8, 2023. [Pulmonary emphysema. The Big Russian Encyclopedia – electronic version. Accessed February 8, 2023]. URL: <https://old.bigenc.ru/medicine/text/4935239> (13.04.2023).
19. Viegi G., Pistelli F., Sherrill D.L., Maio S., Baldacci S., Carrozzi L. Definition, epidemiology and natural history of COPD. *Eur. Resp. J.* 2007;30(5):993–1013. DOI: 10.1183/09031936.00082507.
20. Carr L.L., Jacobson S., Lynch D.A., Foreman M.G., Flenaugh E.L., Hersh C.P. et al. Features of COPD as predictors of lung cancer. *Chest.* 2018;153(6):1326–1335. DOI: 10.1016/j.chest.2018.01.049.
21. Николаев А.Е., Блохин И.А., Лбова О.А., Дадакина И.С., Гомболевский В.А., Морозов С.П. Три клинически значимые находки при скрининге рака легких. *Туберкулез и болезни легких.* 2019;97(10):37–44. DOI: 10.21292/2075-1230-2019-97-10-37-44. [Nikolaev A.E., Blokhin I.A., Lbova O.A., Dadakina I.S., Gombolevskiy V.A., Morozov S.P. Three clinically relevant findings in lung cancer screening. *Tuberculosis and Lung Diseases.* 2019;97(10):37–44. (In Russ.). DOI: 10.21292/2075-1230-2019-97-10-37-44.
22. Yasuura Y., Terada Y., Mizuno K., Kayata H., Hayato K., Kojima H. et al. Quantitative severity of emphysema is related to the prognostic outcome of early-stage lung cancer. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2022;62(5):ezac499. DOI: 10.1093/ejcts/ezac499.
23. Ezponda A., Casanova C., Divo M., Marín-Oto M., Cabrera C., Marín J.M. et al. Chest CT-assessed comorbidities and all-cause mortality risk in COPD patients in the BODE cohort. *Respirology.* 2022;27(4):286–293. DOI: 10.1111/resp.14223.
24. Bakker J.T., Klooster K., Vliegthart R., Slebos D.J. Measuring pulmonary function in COPD using quantitative chest computed tomography analysis. *Eur. Respir. Rev.* 2021;30(161):210031. DOI: 10.1183/16000617.0031-2021.
25. Cavigli E., Camiciottoli G., Diciotti S., Orlandi I., Spinelli C., Meoni E. et al. Whole-lung densitometry versus visual assessment of emphysema. *Eur. Radiol.* 2009;19(7):1686–1692. DOI: 10.1007/s00330-009-1320-y.
26. Chen H., Zeng Q.S., Zhang M., Chen R.C., Xia T.T., Wang W. et al. Quantitative low-dose computed tomography of the lung parenchyma and airways for the differentiation between chronic obstructive pulmonary disease and asthma patients. *RES.* 2017;94(4):366–374. DOI: 10.1159/000478531.
27. Loh L.C., Ong C.K., Koo H.J., Lee S.M., Lee J.S., Oh Y.M. et al. A novel CT-emphysema index/FEV1 approach of phenotyping COPD to predict mortality. *Int. J. Chron. Obstruct Pulmon. Dis.* 2018;13:2543–2550. DOI: 10.2147/COPD.S165898.
28. QIBA Profile: Computed Tomography: Lung Densitometry; Alliance QIB. Radiological Society of North America; 2021. URL: https://qibawiki.rsna.org/images/a/a8/QIBA_CT_Lung_Density_Profile_090420-clean.pdf (13.04.2023).

29. Nguyen-Kim T.D.L., Maurer B., Suliman Y.A., Morsbach F., Distler O., Frauenfelder T. The impact of slice-reduced computed tomography on histogram-based densitometry assessment of lung fibrosis in patients with systemic sclerosis. *J. Thorac. Dis.* 2018;10(4):2142–2152. DOI: 10.21037/jtd.2018.04.39.
30. Alevizos M.K., Danoff S.K., Pappas D.A., Lederer D.J., Johnson C., Hoffman E.A. et al. Assessing predictors of rheumatoid arthritis-associated interstitial lung disease using quantitative lung densitometry. *Rheumatology (Oxford)*. 2022;61(7):2792–2804. DOI: 10.1093/rheumatology/keab828.
31. Tao Q., Zhu T., Ge X., Gong S., Guo J. The application value of spiral CT lung densitometry software in the diagnosis of radiation-induced lung injury. *Contrast Media & Molecular Imaging*. 2021;2021:e9305508. DOI: 10.1155/2021/9305508.
32. Carvalho A.R.S., Guimarães A.R., Sztajnbock F.R., Rodrigues R.S., Silva B.R.A., Lopes A.J. et al. Automatic quantification of interstitial lung disease from chest computed tomography in systemic sclerosis. *Front. Med. (Lausanne)*. 2020;7:577739. DOI: 10.3389/fmed.2020.577739.
33. Abuladze L.R., Blokhin I.A., Gonchar A.P., Suchilova M.M., Vladzimirsky A.V., Gomboleviskiy V.A. et al. CT imaging of HIV-associated pulmonary disorders in COVID-19 pandemic. *Clinical Imaging*. 2023;95:97–106. DOI: 10.1016/j.clinimag.2023.01.006.
34. Richeldi L., Collard H.R., Jones M.G. Idiopathic pulmonary fibrosis. *Lancet*. 2017;389(10082):1941–1952. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)30866-8.
35. Easthausen I., Podolanczuk A., Hoffman E., Kawut S., Oelsner E., Kim J.S. et al. Reference values for high attenuation areas on chest CT in a healthy, never-smoker, multi-ethnic sample: The MESA study. *Respirology*. 2020;25(8):855–862. DOI: 10.1111/resp.13783.
36. Richeldi L., Collard H.R., Jones M.G. Idiopathic pulmonary fibrosis. *Lancet*. 2017;389(10082):1941–1952. DOI: 10.1016/S0140-6736(17)30866-8.
37. Kim G.H.J., Weigt S.S., Belperio J.A., Brown M.S., Shi Y., Lai J.H. et al. Prediction of idiopathic pulmonary fibrosis progression using early quantitative changes on CT imaging for a short term of clinical 18–24-month follow-ups. *Eur. Radiol.* 2020;30(2):726–734. DOI: 10.1007/s00330-019-06402-6.
38. Best A.C., Meng J., Lynch A.M., Bozic C.M., Miller D., Grunwald G.K. et al. Idiopathic pulmonary fibrosis: physiologic tests, quantitative CT indexes, and CT visual scores as predictors of mortality. *Radiology*. 2008;246(3):935–940. DOI: 10.1148/radiol.2463062200.
39. Humphries S.M., Mackintosh J.A., Jo H.E., Walsh S.L.F., Silva M., Calandriello L. et al. Quantitative computed tomography predicts outcomes in idiopathic pulmonary fibrosis. *Respirology*. 2022;27(12):1045–1053. DOI: 10.1111/resp.14333.
40. Jacob J., Bartholmai B.J., Rajagopalan S., Kokosi M., Nair A., Karwoski R. et al. Mortality prediction in idiopathic pulmonary fibrosis: evaluation of computer-based CT analysis with conventional severity measures. *Eur. Respir. J.* 2017;49(1):1601011. DOI: 10.1183/13993003.01011-2016.
41. De Giacomo F., Raghunath S., Karwoski R., Bartholmai B.J., Moua T. Short-term automated quantification of radiologic changes in the characterization of idiopathic pulmonary fibrosis versus nonspecific interstitial pneumonia and prediction of long-term survival. *J. Thorac. Imaging*. 2018;33(2):124–131. DOI: 10.1097/RTI.0000000000000317.
42. Чучалин А.Г., Авдеев С.Н., Айсанов З.Р., Белевский А.С., Демуря С.А., Илькович М.М. и др. Диагностика и лечение идиопатического легочного фиброза. Федеральные клинические рекомендации. *Пульмонология*. 2016;26(4):399–419. [Chuchalin A.G., Avdeev S.N., Aisanov Z.R., Belevskiy A.S., Demura S.A., Il'kovich M.M. et al. Diagnosis and Treatment of Idiopathic Pulmonary Fibrosis. Federal Guidelines. *Pulmonologiya*. 2016;26(4):399–419. (In Russ.)]. DOI: 10.18093/0869-0189-2016-26-4-399-419.
43. Ando K., Sekiya M., Tobino K., Takahashi K. Relationship between quantitative CT metrics and pulmonary function in combined pulmonary fibrosis and emphysema. *Lung*. 2013;191(6):585–591. DOI: 10.1007/s00408-013-9513-1.
44. Wisselink H.J., Pelgrim G.J., Rook M., van den Berge M., Slump K., Nagaraj Y. et al. Potential for dose reduction in CT emphysema densitometry with post-scan noise reduction: a phantom study. *BJR*. 2020;93(1105):20181019. DOI: 10.1259/bjr.20181019.
45. Choromańska A., Macura K.J. Role of computed tomography in quantitative assessment of emphysema. *Pol. J. Radiol.* 2012;77(1):28–36. DOI: 10.12659/pjr.882578.
46. 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*. 2021;11(4):37–43. DOI: 10.22328/2079-5343-2020-11-4-37-43.
- [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*. 2021;11(4):37–43. (In Russ.)]. DOI: 10.22328/2079-5343-2020-11-4-37-43.
47. Гомболеvisкий В.А., Чернина В.Ю., Блохин И.А., Николаев А.Е., Барчук А.А., Морозов С.П. Основные достижения низкодозной компьютерной томографии в скрининге рака легкого. *Туберкулез и болезни легких*. 2021;99(1):61–70. [Gomboleviskiy V.A., Chernina V.Yu., Blokhin I.A., Nikolaev A.E., Barchuk A.A., Morozov S.P. Main achievements of low-dose computed tomography in lung cancer screening. *Tuberculosis and Lung Diseases*. 2021;99(1):61–70. (In Russ.)]. DOI: 10.21292/2075-1230-2021-99-1-61-70.
48. Gierada D.S., Bierhals A.J., Choong C.K., Bartel S.T., Ritter J.H., Das N.A. et al. Effects of CT section thickness and reconstruction kernel on emphysema quantification relationship to the magnitude of the CT emphysema index. *Acad. Radiol.* 2010;17(2):146–156. DOI: 10.1016/j.acra.2009.08.007.
49. Cao X., Jin C., Tan T., Guo Y. Optimal threshold in low-dose CT quantification of emphysema. *Eur. J. Radiol.* 2020;129:109094. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.109094.
50. Jin H., Heo C., Kim J.H. Deep learning-enabled accurate normalization of reconstruction kernel effects on emphysema quantification in low-dose CT. *Phys. Med Biol.* 2019;64(13):135010. DOI: 10.1088/1361-6560/ab28a1.
51. Kim H., Goo J.M., Ohno Y., Kauczor H.U., Hoffman E.A., Gee J.C. et al. Effect of reconstruction parameters on the quantitative analysis of chest computed tomography. *J. Thorac. Imaging*. 2019;34(2):92–102. DOI: 10.1097/RTI.0000000000000389.
52. Nagaraj Y., Wisselink H.J., Rook M., Cai J., Nagaraj S.B., Sidorenkov G. et al. AI-driven model for automatic emphysema detection in low-dose computed tomography using disease-specific augmentation. *J. Digit. Imaging*. 2022;35(3):538–550. DOI: 10.1007/s10278-022-00599-7.
53. Bak S.H., Kim J.H., Jin H., Kwon S.O., Kim B., Cha Y.K. et al. Emphysema quantification using low-dose computed tomography with deep learning-based kernel conversion comparison. *Eur. Radiol.* 2020;30(12):6779–6787. DOI: 10.1007/s00330-020-07020-3.
54. Эмфизема легких: Клинические рекомендации. Российское Респираторное общество; 2021. [Lung emphysema: Clinical guidelines. Russian Respiratory Society; 2021]. URL: https://spulmo.ru/upload/kr/Emfizema_2021.pdf (13.04.2023).
55. Rea G., De Martino M., Capaccio A., Dolce P., Valente T., Castaldo S. et al. Comparative analysis of density histograms and visual scores in incremental and volumetric high-resolution computed tomography of the chest in idiopathic pulmonary fibrosis patients. *Radiol. med.* 2021;126(4):599–607. DOI: 10.1007/s11547-020-01307-7.
56. Sukhija A., Mahajan M., Joshi P.C., Dsouza J., Seth N.D.N., Patil K.H. Radiographic findings in COVID-19: Comparison between AI and radiologist. *Indian J. Radiol. Imaging*. 2021;31(Suppl 1):S87–S93. DOI: 10.4103/ijri.IJRI_777_20.
57. Soyer P., Fishman E.K., Rowe S.P., Patlas M.N., Chassagnon G. Does artificial intelligence surpass the radiologist? *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2022;103(10):445–447. DOI: 10.1016/j.diii.2022.08.001.
58. Colombi D., Bodini F.C., Petrini M., Maffi G., Morelli N., Milanese G. et al. Well-aerated lung on admitting chest CT to predict adverse outcome in COVID-19 Pneumonia. *Radiology*. 2020;296(2):E86–E96. DOI: 10.1148/radiol.2020201433.
59. Блохин И.А., Соловьев А.В., Владимировский А.В., Коденко М.Р., Шумская Ю.Ф., Гончар А.П. и др. Автоматический анализ поражения легких при COVID-19: сравнение стандартной и низкодозной компьютерной томографии. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2022;37(4):114–123. [Blokhin I.A., Solovov A.V., Vladzimirsky A.V., Kodenko M.R., Shumskaya Yu.F., Gonchar A.P. et al. Automated analysis of lung lesions in COVID-19: comparison of standard and low-dose CT. *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2022;37(4):114–123. (In Russ.)]. DOI: 10.29001/2073-8552-2022-37-4-114-123.
60. Шатенок М.П., Рыжов С.А., Лантух З.А., Дружинина Ю.В., Толкачев К.В. Возможности программного обеспечения для мониторинга дозовой нагрузки пациентов в лучевой диагностике. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):212–230. [Shatenok M.P., Ryzhov S.A., Lantukh Z.A., Druzhinina Yu.V., Tolkachev K.V. Patient dose monitoring software in radiology. *Digital Diagnostics*. 2022;3(3):212–230. (In Russ.)]. DOI: 10.17816/DD106083.
61. Kodenko M.R., Vasilev Y.A., Vladzimirsky A.V., Omelyanskaya O.V.,

- Leonov D.V., Blokhin I.A. et al. Diagnostic accuracy of ai for opportunistic screening of abdominal aortic aneurysm in CT: A systematic review and narrative synthesis. *Diagnostics*. 2022;12(12):3197. DOI: 10.3390/diagnostics12123197.
62. Sorantin E., Grasser M.G., Hemmelmayr A., Tschauer S., Hrzic F., Weiss V. et al. The augmented radiologist: artificial intelligence in the practice of radiology. *Pediatr. Radiol.* 2022;52(11):2074–2086. DOI: 10.1007/s00247-021-05177-7.
63. Gangeh M.J., Sørensen L., Shaker S.B., Kamel M.S., de Bruijne M., Loog M. A texon-based approach for the classification of lung parenchyma in CT images. *Med. Image Comput. Comput. Assist. Interv.* 2010;13(Pt. 3):595–602. DOI: 10.1007/978-3-642-15711-0_74.
64. Soffer S., Ben-Cohen A., Shimon O., Amitai M.M., Greenspan H., Klang E. Convolutional neural networks for radiologic images: A radiologist's guide. *Radiology*. 2019;290(3):590–606. DOI: 10.1148/radiol.2018180547.
65. Soffer S., Morgenthau A.S., Shimon O., Barash Y., Konen E., Glucksberg B.S. et al. Artificial intelligence for interstitial lung disease analysis on chest computed tomography: A systematic review. *Academic Radiology*. 2022;29:S226–S235. DOI: 10.1016/j.acra.2021.05.014.
66. Aggarwal R., Sounderajah V., Martin G., Aggarwal R., Sounderajah V., Martin G. et al. Diagnostic accuracy of deep learning in medical imaging: a systematic review and meta-analysis. *NPJ Digit. Med.* 2021;4(1):1–23. DOI: 10.1038/s41746-021-00438-z.

Информация о вкладе авторов

Сучилова М.М. участвовала в разработке концепции статьи, собрала первичный литературный материал, участвовала в написании текста, подготовила окончательную версию текста.

Коденко М.Р. участвовала в разработке концепции статьи, написании и редактировании текста, предложила иллюстративный материал, участвовала в подготовке окончательной версии текста.

Блохин И.А. участвовал в разработке концепции статьи, собрал первичный литературный материал, участвовал в написании текста.

Решетников Р.В., Николаев А.Е., Омелянская О.В., Владзимирский А.В. участвовали в разработке структуры статьи, написании и редактировании текста, формировании табличного материала.

Information on author contributions

Suchilova M.M. contributed to developing the concept of the article, collected primary literary material, participated in writing the text, and prepared the final version of the manuscript for publication.

Kodenko M.R. contributed to developing the concept of the article, writing and editing the text, proposed illustrative material, and participated in the preparation of the final version of the manuscript.

Blokhin I.A. contributed to developing the concept of the article, collection of primary literature material, and writing the manuscript.

Reshetnikov R.V., Nikolaev A.E., Omelyanskaya O.V., Vladzimirskyy A.V. contributed to developing the article structure, writing and editing the text, and creating the tabular material.

Сведения об авторах

Сучилова Мария Максимовна, младший научный сотрудник, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий. ORCID 0000-0003-1117-0294.

E-mail: SuchilovaMM@zdrav.mos.ru.

Коденко Мария Романовна, младший научный сотрудник, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий. ORCID 0000-0002-0166-3768.

E-mail: KodenkoMR@zdrav.mos.ru.

Блохин Иван Андреевич, начальник сектора исследований в лучевой диагностике, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий. ORCID 0000-0002-2681-9378.

E-mail: BlockhinIA@zdrav.mos.ru.

Решетников Роман Владимирович, канд. физ.-мат. наук, руководитель отдела научных медицинских исследований, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий. ORCID 0000-0002-9661-0254.

E-mail: r.reshetnikov@npscmr.ru.

Николаев Александр Евгеньевич, младший научный сотрудник, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий. ORCID 0000-0001-5151-4579.

E-mail: NikolaevAE@zdrav.mos.ru.

Омелянская Ольга Васильевна, руководитель по управлению подразделениями Дирекции Наука, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий. ORCID: 0000-0002-0245-4431.

E-mail: o.omelyanskaya@npscmr.ru.

Владзимирский Антон Вячеславович, д-р мед. наук, заместитель директора по научной работе, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий; профессор кафедры информационных и интернет-технологий, Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет). ORCID 0000-0002-2990-7736.

E-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru.

Information about the authors

Maria M. Suchilova, Junior Research Scientist, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Health Care Department. ORCID 0000-0003-1117-0294.

E-mail: SuchilovaMM@zdrav.mos.ru.

Maria R. Kodenko, Junior Research Scientist, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Health Care Department. ORCID 0000-0002-0166-3768.

E-mail: KodenkoMR@zdrav.mos.ru.

Ivan A. Blokhin, Head of the Radiology Research Sector, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Health Care Department. ORCID 0000-0002-2681-9378.

E-mail: BlockhinIA@zdrav.mos.ru.

Roman V. Reshetnikov, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Head of Medical Research Department, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Health Care Department. ORCID 0000-0002-9661-0254.

E-mail: r.reshetnikov@npscmr.ru.

Alexander E. Nikolaev, Junior Research Scientist, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Health Care Department. ORCID 0000-0001-5151-4579.

E-mail: NikolaevAE@zdrav.mos.ru.

Olga V. Omelyanskaya, Head of Division Management of the Directorate of Science Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Health Care Department. ORCID 0000-0002-0245-4431.

E-mail: o.omelyanskaya@npscmr.ru.

Anton V. Vladzimirskyy, Dr. Sci. (Med.), Deputy Director for Scientific Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Health Care Department; Professor of the Department of Information and Internet Technologies, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University). ORCID: 0000-0002-2990-7736.

E-mail: VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru.

 **Сучилова Мария Максимовна**, E-mail: SuchilovaMM@zdrav.mos.ru.

 **Maria M. Suchilova**, E-mail: SuchilovaMM@zdrav.mos.ru.

Поступила 20.02.2023

Received February 20, 2023