

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD104358>

Влияние индекса массы тела на надёжность шкалы КТ 0–4: сравнение протоколов компьютерной томографии

И.А. Блохин¹, А.П. Гончар¹, М.Р. Коденко^{1,2}, А.В. Соловьев¹, В.А. Гомболевский³, Р.В. Решетников^{1,4}

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

² Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация

³ Институт искусственного интеллекта (AIRI), Москва, Российская Федерация

⁴ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Из-за повышения частоты использования компьютерной томографии органов грудной клетки в борьбе с COVID-19 возникла необходимость применения низкодозной компьютерной томографии для снижения дозовой нагрузки на организм пациента при сохранении диагностической ценности исследования. При этом данных о влиянии индекса массы тела пациента на точность низкодозной компьютерно-томографической диагностики у пациентов с COVID-19 в опубликованной литературе не обнаружено.

Цель — оценить влияние индекса массы тела пациента на уровень согласия между врачами-рентгенологами при интерпретации стандартной и низкодозной компьютерной томографии органов грудной клетки при COVID-19-ассоциированной пневмонии по визуальной полуколичественной шкале КТ 0–4.

Материалы и методы. Ретроспективное многоцентровое исследование, в котором каждому из участников в рамках одного визита было последовательно выполнено два исследования органов грудной клетки по стандартному и низкодозному протоколу. Интерпретация стандартной и низкодозной компьютерной томографии органов грудной клетки с лёгочным и мягкотканым кернелами проводилась по визуальной полуколичественной шкале КТ 0–4. Данные для каждого протокола были сгруппированы по значению индекса массы тела (пороговое значение для патологии было принято равным 25 кг/м²). Согласие рассчитывали на основе бинарной и взвешенной классификаций. Оценку наличия статистически значимых различий средних для полученных групп проводили методом однофакторного дисперсионного анализа ANOVA.

Результаты. Из общего количества пациентов ($n=231$) 230 соответствовали установленным критериям включения в исследование. Эксперты обработали по 4 исследования стандартной и низкодозной компьютерной томографии с лёгочным и мягкотканым кернелами для каждого пациента. Доля пациентов с нормальным весом составила 31% (71 человек), медиана индекса массы тела для выборки равна 27,5 (18,3; 48,3) кг/м². Статистически значимых различий при межгрупповом попарном сравнении не выявлено ни для бинарной, ни для взвешенной классификации (p -value 0,09 и 0,12 соответственно). Группа пациентов с избыточным весом была дополнительно разделена по степеням ожирения, однако результаты исследования оказались инвариантны к такому делению (статистически значимых различий нет: для максимально различных по индексу массы тела групп «норма» и «ожирение 3-й степени» p -value 0,17).

Заключение. Индекс массы тела пациента не влияет на интерпретацию стандартной и низкодозной компьютерной томографии органов грудной клетки при COVID-19 по визуальной полуколичественной шкале КТ 0–4.

Ключевые слова: индекс массы тела; согласие между экспертами; компьютерная томография; низкодозная компьютерная томография; COVID-19.

Как цитировать

Блохин И.А., Гончар А.П., Коденко М.Р., Соловьев А.В., Гомболевский В.А., Решетников Р.В. Влияние индекса массы тела на надёжность шкалы КТ 0–4: сравнение протоколов компьютерной томографии // *Digital Diagnostics*. 2022. Т. 3, № 2. С. 108–118. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD104358>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD104358>

Impact of body mass index on the reliability of the CT0–4 grading system: a comparison of computed tomography protocols

Ivan A. Blokhin¹, Anna P. Gonchar¹, Maria R. Kodenko^{1,2}, Alexander V. Solovev¹, Victor A. Gomboleviskiy³, Roman V. Reshetnikov^{1,4}

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

³ Artificial Intelligence Research Institute, Moscow, Russian Federation

⁴ The First Sechenov Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The increased frequency of chest computed tomography utilization in the fight against COVID-19 has made usage of low-dose computed tomography necessary to reduce the radiation dose while preserving diagnostic quality. However, in the published literature, there were no data on the effect of body mass index on low-dose computed tomography accuracy in patients with COVID-19.

AIM: To assess the effect of patient body mass index on the level of agreement between radiologists interpreting standard-dose computed tomography and low-dose computed tomography in COVID-19-associated pneumonia using visual semiquantitative CT 0–4 scale.

MATERIALS AND METHODS: In this retrospective multicenter study, each participant underwent two consecutive chest scans at a single visit using standard-dose and low-dose protocols. Standard-dose and low-dose computed tomography with pulmonary and soft tissue kernels were interpreted using a visual semiquantitative CT 0–4 grading system. Data for each protocol were grouped by body mass index value (threshold value for pathology was equal to 25 kg/m²). Agreement was calculated based on binary and weighted classifications. One-way ANOVA analysis of variance was used to assess the presence of statistically significant differences in the mean for the groups.

RESULTS: Two hundred thirty patients met the established inclusion criteria for the study. The experts processed 4 studies for each patient: standard-dose and low-dose computed tomography with pulmonary and soft tissue kernels. The proportion of normal-weight patients was 31% (71 subjects), and the sample's median body mass index was 27.5 (18.3; 48.3) kg/m². There were no statistically significant differences in intergroup pairwise comparisons for both the binary and weighted classifications (*p* values were 0.09 and 0.12, respectively). The group of overweight patients was further subdivided according to the degrees of obesity; however, the results were invariant to this division (no statistically significant differences: for the most different body mass index groups "normal" and "3rd degree obesity" *p*-value 0.17).

CONCLUSION: Body mass index does not affect chest standard-dose and low-dose computed tomography interpretation in COVID-19 using the visual semiquantitative CT 0–4 grading system.

Keywords: Body mass index; Reproducibility of findings; X-ray computed tomography; SARS-CoV-2 infection.

To cite this article

Blokhin IA, Gonchar AP, Kodenko MR, Solovev AV, Gomboleviskiy VA, Reshetnikov RV. Impact of body mass index on the reliability of the CT0–4 grading system: a comparison of computed tomography protocols. *Digital Diagnostics*. 2022;3(2):108–118. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD104358>

Received: 02.03.2022

Accepted: 26.05.2022

Published: 08.06.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD104358>

体重指数对CT 0-4量表可靠性的影响： 计算机断层扫描协议的比较

Ivan A. Blokhin¹, Anna P. Gonchar¹, Maria R. Kodenko^{1,2}, Alexander V. Solovov¹,
Victor A. Gombolevskiy³, Roman V. Reshetnikov^{1,4}

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

³ Artificial Intelligence Research Institute, Moscow, Russian Federation

⁴ The First Sechenov Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

简评

论证。由于在对抗COVID-19的过程中使用胸部计算机断层扫描的频率越来越高，因此有必要应用低剂量计算机断层扫描(LDCT)来减少患者身体的剂量负荷，同时保持研究的诊断价值。然而，在已发表的文献中未发现有关患者体重指数对COVID-19患者LDCT诊断准确性影响的数据。

目的是评估患者的BMI对放射科医生在解释COVID-19相关肺炎的标准和低剂量胸部CT扫描时在0-4视觉半定量CT评分上的一致程度的影响。

材料与方法。一项回顾性多中心研究，其中在一次访问时每位参与者接受了两次连续的胸部检查，使用标准和低剂量方案。对标准和低剂量胸部CT扫描的肺部和软组织核素的解释是以视觉半定量的CT 0-4尺度进行的。每个方案的数据根据体重指数的值进行分组（病理学阈值等于公斤/平方米²）。协议是根据二元和加权分类计算的。通过方差单因素方差分析来评估各组平均值之间是否存在统计学上的显著差异。

结果。在患者总数（n=231）中，230人符合确立的研究纳入标准。专家为每位患者处理了4项标准和低剂量计算机断层扫描研究，包括肺和软组织卷积核。体重正常的患者比例为31%（71人），样本的中位体重指数中位为27.5（18.3；48.3）公斤/平方米。无论是二元分类还是加权分类，组间配对比较未发现统计学上的显著差异（p值分别为0.09和0.12）。超重患者组根据肥胖程度进一步划分，但研究结果对这种划分是不变的（没有统计学上的显著差异：身体质量参数最大不同组别»正常»和»3度肥胖»的p值为0.17）。

结论。患者的体重指数不影响在0-4的视觉半定量CT等级上对COVID-19胸部标准和低剂量计算机断层扫描的解释。

关键词：体重指数；专家之间的协议；CT扫描；低剂量计算机断层扫描；新冠肺炎。

To cite this article

Blokhin IA, Gonchar AP, Kodenko MR, Solovov AV, Gombolevskiy VA, Reshetnikov RV. 体重指数对CT 0-4量表可靠性的影响：计算机断层扫描协议的比较. *Digital Diagnostics*. 2022;3(2):108-118. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD104358>

收到: 02.03.2022

接受: 26.05.2022

发布日期: 08.06.2022

ОБОСНОВАНИЕ

Компьютерная томография органов грудной клетки (КТ ОГК) занимает особое место в диагностике COVID-19 [1]. В настоящее время для оценки степени тяжести пациентов с COVID-19-ассоциированной пневмонией и прогноза течения заболевания используется визуальная полуколичественная шкала поражения лёгочной ткани КТ 0–4 [2]. Из-за повышения частоты использования КТ ОГК в борьбе с COVID-19 возникла необходимость применения низкодозной компьютерной томографии (НДКТ) для уменьшенной дозовой нагрузки на организм пациента при сохранении диагностической ценности исследования [3]. При этом доказано, что НДКТ не ассоциирована с повреждениями ДНК, в отличие от стандартной КТ, после которой увеличивалось количество двуцепочечных разрывов ДНК и хромосомных aberrаций [4].

Известно, что одним из факторов неблагоприятного течения коронавирусной инфекции является высокий индекс массы тела (ИМТ) [5]. В то же время отмечено ограничение применимости НДКТ ОГК у пациентов с ИМТ >35 кг/м² [6]. Ранее А. Manowitz и соавт. [7] установили, что для пациентов с высоким ИМТ при КТ органов брюшной полости лучевую нагрузку можно уменьшить без снижения качества изображений. В исследовании N.S. Paul и соавт. [8] по оценке влияния ожирения на эффективность КТ-коронарографии была отмечена сильная корреляция между ИМТ и шумом изображения как у мужчин ($r=0,66$), так и у женщин ($r=0,85$) с повышенной массой тела. В результате авторы сделали вывод, что при снижении дозы облучения следует учитывать индекс массы пациента. При этом данных о влиянии ИМТ на точность НДКТ-диагностики у пациентов с COVID-19 в опубликованной литературе на момент написания текста не обнаружено.

Цель исследования — оценить влияние ИМТ пациента на достоверность выявляемых изменений и правильность их интерпретации при стандартной и низкодозной КТ ОГК при COVID-19-ассоциированной пневмонии по визуальной полуколичественной шкале КТ 0–4 разными врачами-рентгенологами.

Нулевая гипотеза

Индекс массы тела не влияет на согласие между экспертами при оценке степени тяжести COVID-19-ассоциированной пневмонии по шкале КТ 0–4 при стандартной и низкодозной КТ ОГК.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Ретроспективное исследование выполнено на материалах ранее проведённого проспективного многоцентрового исследования «LDCT in COVID-19 Pneumonia: a Prospective Moscow Study», зарегистрированного

в международной базе данных ClinicalTrials.gov, NCT04379531 25-04-2020 [9].

Критерии соответствия

Критерии включения: пациенты двух государственных амбулаторных медицинских учреждений г. Москвы в возрасте ≥ 18 лет с подозрением на COVID-19-ассоциированную пневмонию и симптомами острой респираторной вирусной инфекции.

Критерии исключения: пациенты с неполными данными (рост, вес, ИМТ); беременные и кормящие женщины; пациенты с инородными телами в области сканирования.

Условия проведения

Каждому участнику исследования в рамках одного визита было последовательно выполнено два исследования ОГК по стандартному и низкодозному протоколу. Анализ КТ-исследований проводили 10 врачей-рентгенологов с опытом работы от 3 до ≥ 25 лет, прошедших обучение интерпретации COVID-19-ассоциированной пневмонии. Для предоставления онлайн-доступа к анонимизированным данным с последующей оценкой степени тяжести заболевания по шкале КТ 0–4 использовали модифицированное программное обеспечение FAnTom [9, 10]. Распределение КТ и НДКТ-исследований, реконструированных в лёгочном и мягкотканном ядрах, проводили среди рентгенологов случайным образом с условием, чтобы каждое исследование независимо и слепо интерпретировали два специалиста.

Продолжительность исследования

Данные исследований КТ и НДКТ ОГК были собраны в период с 6 мая 2020 г. по 22 мая 2020 г.

Описание медицинского вмешательства

Исследования КТ ОГК проводилось на 64-срезовом компьютерном томографе (Aquilion 64, Canon, Япония) без алгоритмов итеративной реконструкции. Был использован стандартный протокол КТ ОГК, предоставленный производителем, и ранее разработанный низкодозный протокол для COVID-19.

Для КТ ОГК ток автоматически регулируется по всей длине сканирования в пределах 40–500 мА при условии, что уровень шума при срезах 5,0 мм составляет 10 (стандартное отклонение).

Для НДКТ ОГК ток автоматически регулируется по всей длине сканирования в пределах 10–500 мА при условии, что уровень шума при срезах 5,0 мм составляет 36 (стандартное отклонение).

Дополнительные параметры КТ (одинаковые для КТ и НДКТ): напряжение — 120 кВ; время вращения — 0,5 с; направление — наружу (от ног к голове); модуляция ХУ — включена; коллимация — 64×0,5 мм; шаг спирали — 53,0; сканирование проводится на пиковой глубине вдоха; время сканирования — в среднем 6 с (зависит

от индивидуальных конституциональных особенностей). Исследования проводились без контрастного усиления.

Параметры реконструкций изображений были одинаковыми для стандартной КТ и НДКТ: матрица — 512×512; D-FOV — 350 мм; длина сканирования — 300 мм; ядро (кernels) реконструкции — FC51 (лёгочный kernel) и FC07 (мягкотканый kernel); толщина среза — 1,0 мм; инкремент — 1,0 мм.

Основной исход исследования

Настоящее исследование посвящено изучению влияния ИМТ пациента с COVID-19-ассоциированной пневмонией на качество интерпретации исследований КТ ОГК с использованием низкодозного протокола. В качестве метода сравнения использовали протокол КТ со стандартной дозой облучения; интерпретацию проводили по визуальной полуколичественной шкале КТ 0–4.

Этическая экспертиза

Работа основана на результатах исследования, для которого было получено согласование № 03/2020 в независимом этическом комитете Московского регионального отделения Российского общества рентгенологов и радиологов (МРО РОРР). Все пациенты подписали информированное добровольное согласие.

Статистический анализ

Согласие между экспертами по каждому пациенту оценивали по формулам (1) и (2) для следующих протоколов:

- стандартная КТ с лёгочным kernelом (фильтром реконструкции) FC51 (Sharp CT);
- стандартная КТ с мягкотканым kernelом (фильтром реконструкции) FC07 (Soft CT);
- низкодозная КТ с лёгочным kernelом (фильтром реконструкции) FC51 (Sharp LDCT);
- низкодозная КТ с мягкотканым kernelом (фильтром реконструкции) FC07 (Soft LDCT).

Данные для каждого протокола были разбиты на две группы по значению ИМТ: норма (ИМТ <25 кг/м²) и избыточная масса тела (ИМТ ≥25 кг/м²) [11]. Оценка согласия между экспертами для подгруппы представлена в виде среднего значения и стандартного отклонения.

Обработка данных проводилась средствами R, версия 4.0.4, пакеты dplyr, ggplot2, irr [12].

Согласие рассчитывалось в процентах на основе абсолютной величины разности оценки двух экспертов:

$$|\Delta| = |\text{эксперт1} - \text{эксперт2}|. \quad (1)$$

Использовали два варианта трактовки разногласий.

1. Бинарная классификация, не чувствительная к величине разности экспертных оценок (Δ). При отсутствии разницы между оценками экспертов ($|\Delta|=0$) согласие составляет 100%, при любом различии между оценками ($|\Delta| \neq 0$) согласие берётся равным 0%.

2. Взвешенная классификация учитывает величину разности экспертных оценок (Δ):

$$\text{Согласие} = (1 - |\frac{\Delta}{\Delta_{\max}}|) \times 100, \quad (2)$$

где Δ — разница между оценками экспертов для текущего исследования согласно формуле (1), Δ_{\max} — максимально возможная разница оценок ($\Delta_{\max}=4$, четыре категории КТ 0–4). Применительно к данному исследованию взвешенная оценка согласия дискретна и находится в диапазоне от 0 до 100% с шагом 25%: согласие 0% соответствует расхождению на четыре категории, 25% — на три, 50% — на две, 75% — на одну, 100% — полное согласие.

Оценку наличия статистически значимых различий средних для полученных групп проводили методом одностороннего дисперсионного анализа (One-way ANOVA) [13]. На первом этапе проводили статистический анализ равенства дисперсий исследуемых групп с помощью критерия Левена [14]. Далее проводили дисперсионный анализ равенства средних с учётом информации о равенстве дисперсий. В качестве зависимой переменной рассматривали согласие между рентгенологами, независимыми переменными были индекс массы тела (бинарная классификация, нормальная и избыточная масса тела) и протокол исследования (Sharp CT, Soft CT, Sharp LDCT, Soft LDCT). Для определения численных значений p для различий между индивидуальными подгруппами проводили ретроспективный анализ с HSD-критерием Тьюки [15]. Для всех сравнений использовали уровень статистической значимости 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общее число пациентов, отобранных для исследования, — 231, из них 230 включены в исследование (для одного пациента отсутствовали данные по ИМТ). В отобранной когорте 55,6% женщин. Средний возраст пациента составил 47±15 лет. Для каждого пациента получали данные КТ- и НДКТ-исследований, которые затем реконструировали с использованием лёгочного и мягкотканого kernelов.

Основные параметры описательной статистики для выборки в целом: размах (18,3; 48,3) кг/м²; медиана 27,5 кг/м², среднее 27,9±5,6 кг/м²; распределение не соответствует нормальному (p -value ≤0,01), коэффициент асимметрии равен 0,9 (существенная правосторонняя асимметрия).

Категоризация пациентов по ИМТ: пациенты без избыточного веса (ИМТ <25 кг/м²) — 31% (71 человек); пациенты с избыточным весом (ИМТ ≥25 кг/м²) — 69% (159 человек).

Наивысший показатель согласия для пациентов с нормальным ИМТ наблюдали при использовании протокола Sharp LDCT: 83,5% и 92,8% по бинарной и взвешенной

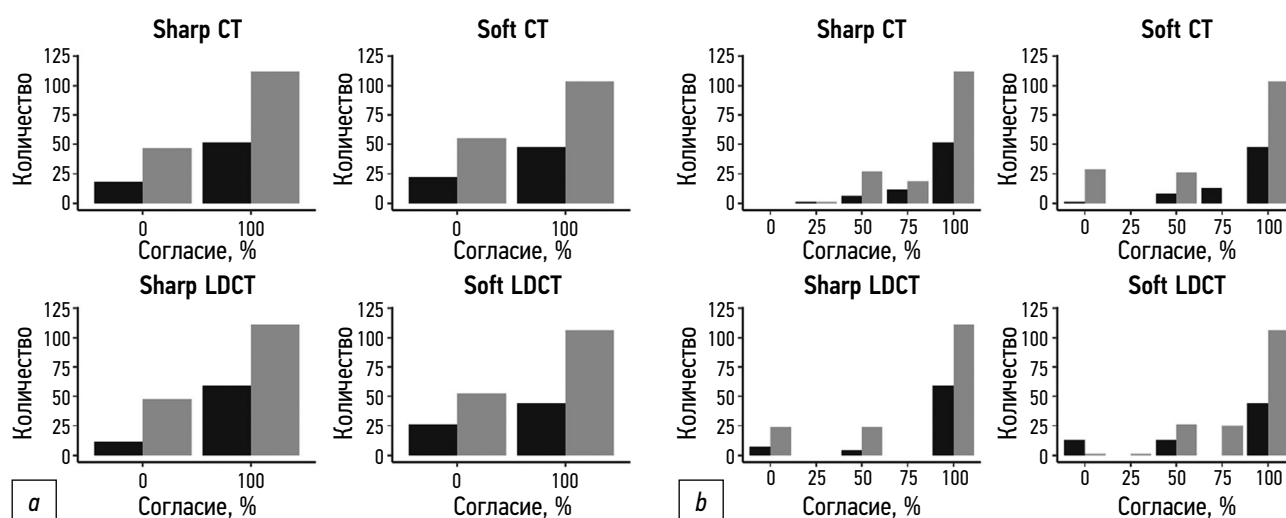


Рис. 1. Диаграмма согласия экспертов при бинарной (а) и взвешенной (б) классификации для групп по индексу массы тела (серый цвет — группа избыточного веса, чёрный — группа нормального веса).

классификации соответственно (рис. 1; таблица). Протокол Soft LDCT характеризовался наименьшим согласием для пациентов с нормальным ИМТ: 64,9% по бинарной и 86,9% по взвешенной классификации.

Для пациентов с избыточной массой тела протоколом с наивысшим согласием между экспертами был Sharp CT (71,2% и 88,4% по бинарной и взвешенной классификации соответственно). Наименьшее согласие для таких пациентов наблюдали при использовании протокола Soft CT: 64,4% по бинарной классификации и 86,4% — по взвешенной (см. рис. 1 и таблицу).

Наибольшую разницу в гомогенности интерпретаций между группами с нормальной и избыточной массой тела наблюдали при использовании протокола Sharp LDCT (разница средних 16,1% и 4,5% по бинарной и взвешенной классификации соответственно). Наименее гетерогенной интерпретация была при использовании протоколов Sharp CT и Soft LDCT, для которых разница средних не превышала 1% по любой из классификаций (см. рис. 1 и таблицу).

Дисперсионный анализ

Для анализа различий между интерпретациями рентгенологов в зависимости от ИМТ пациента, протокола сканирования и реконструкции мы проводили однофакторный дисперсионный анализ ANOVA. Результаты анализа продемонстрировали отсутствие статистически

значимых различий между средними значениями согласия для групп нормы и избыточной массы тела во всех четырёх протоколах как для бинарной классификации ($p=0,13$ для протокола и $p=0,18$ для ИМТ), так и для взвешенной ($p=0,18$ и $p=0,14$ соответственно).

Помимо сопоставления средних значений согласия, мы проводили также сравнение варибельности оценок экспертов в зависимости от ИМТ пациента и от метода визуализации. Согласно критерию Левена, различия в бинарной и взвешенной классификациях позволяют принять гипотезу о равенстве дисперсий исследуемых групп.

Разницу между индивидуальными подгруппами изучали с помощью ретроспективного анализа с HSD-критерием Тьюки (рис. 2). Для всех пар сравнения 95% доверительные интервалы включали в себя значение «0» как для бинарной (рис. 2, а), так и для взвешенной (рис. 2, б) классификации, что свидетельствует об отсутствии статистически значимой разницы в интерпретациях рентгенологов для разных групп по индексу массы тела и методу визуализации.

Для бинарной классификации минимальное значение p составило 0,22 при сопоставлении групп Sharp LDCT для нормальной массы тела и Soft CT для избыточной массы тела, а минимальное значение p в рамках одного протокола — 0,65 (Sharp LDCT). Для взвешенной классификации минимальное значение p составило 0,08,

Таблица. Численные значения согласия (%) между экспертами для бинарной (светло-серый) и взвешенной (тёмно-серый) классификации

Value	Sharp CT		Soft CT		Sharp LDCT		Soft LDCT	
	Normal	Overweight	Normal	Overweight	Normal	Overweight	Normal	Overweight
Mean	72,2	71,2	69,1	64,4	83,5	67,4	64,9	65,9
SD	45,1	45,4	46,5	48,1	37,3	47,0	48,0	47,6
Mean	89,4	88,4	88,4	86,4	92,8	88,3	86,9	86,4
SD	18,7	19,6	19,8	19,9	16,9	18,4	19,5	21,3

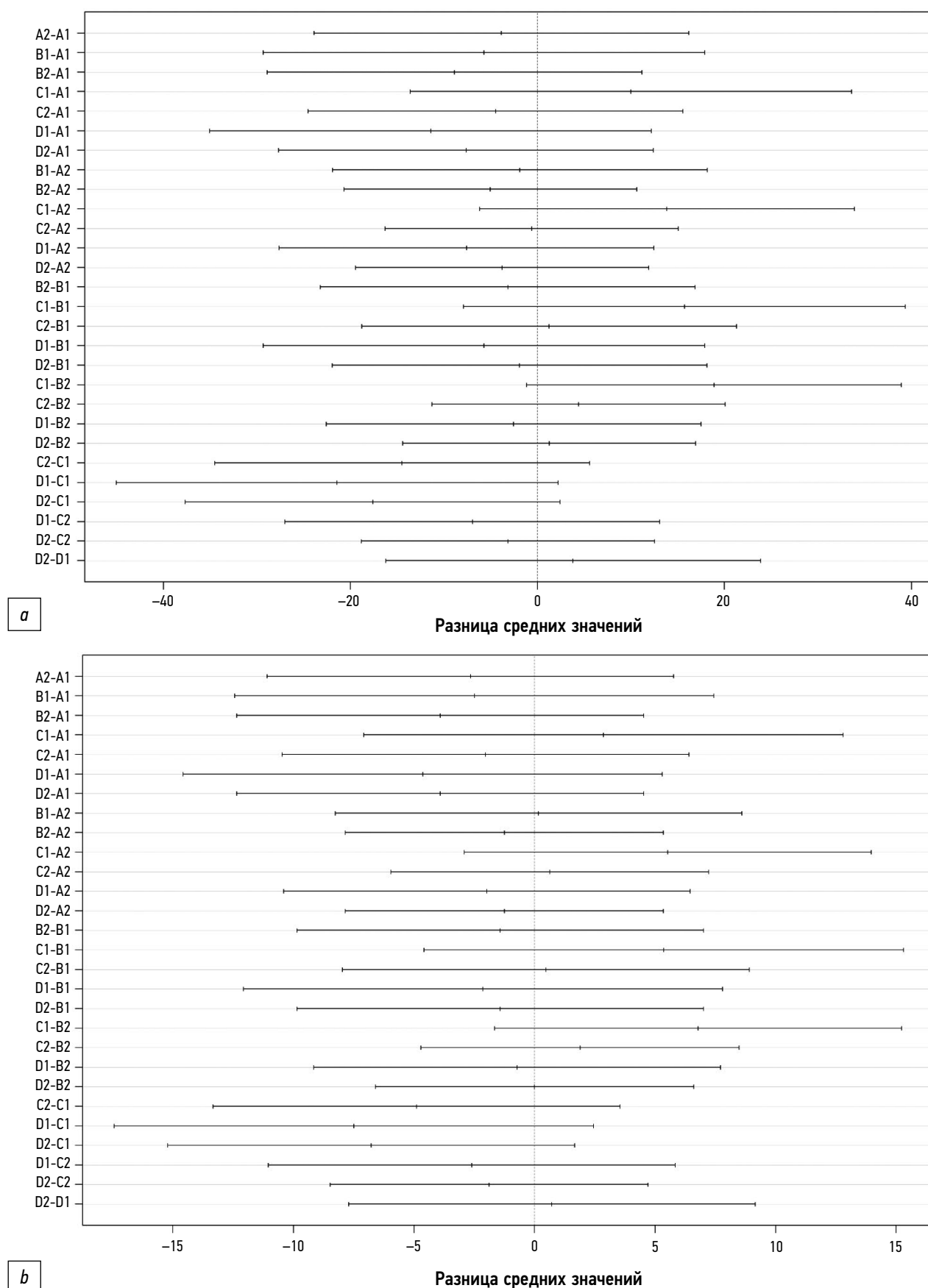


Рис. 2. Постапостериорный анализ гипотезы о сходстве средних: *a* — бинарная классификация; *b* — нормированная классификация (Протоколы Sharp CT, Soft CT, Sharp LDCT и Soft LDCT закодированы буквами А, В, С и D соответственно, группа нормы закодирована цифрой «1», группа избыточного веса — цифрой «2»).

минимальное значение p в рамках одного протокола — 0,36 для аналогичных групп.

Дополнительно проведённый ROC-анализ (receiver operating characteristic) исследуемых групп позволил определить оптимальный порог ИМТ для предсказания уровня согласия, равный 26,24 кг/м². Для данного порога был повторно проведён дисперсионный анализ, который подтвердил отсутствие статистически значимых различий для дисперсий (p -value для бинарной классификации 0,13 и 0,09; для взвешенной классификации 0,18 и 0,12 по протоколу и ИМТ соответственно) и средних (значения p аналогичны) исследуемых групп в рамках каждого протокола. Для обоих видов классификации минимальное значение p было получено для сравнения групп нормального и избыточного веса в рамках протокола Sharp LDCT и составило 0,65 для бинарной и 0,15 для взвешенной классификации.

По причине смещённости исходной выборки в область «избыточного веса» (ИМТ в диапазоне [25; 30] кг/м²) был проведён дополнительный анализ с выделением групп «избыточный вес», «ожирение 1-й степени», «ожирение 2-й степени», «ожирение 3-й степени». Результаты анализа по всем протоколам показали отсутствие статистически значимых различий для обоих типов классификации (p -value было минимально для групп «норма» и «ожирение 1-й степени» и составило 0,09 и 0,08 для бинарной и взвешенной классификаций соответственно). Для максимально отличных по ИМТ групп «норма» и «ожирение 3-й степени» p -value составило 0,17.

Дополнительно выполнен анализ серий исследований, для которых расхождение в оценках экспертов по визуальной полуколичественной шкале КТ 0–4 превысило одну категорию. Всего выявлено 26 таких серий. После пересмотра каждого случая представляется возможным разделить расхождения на две группы.

В первую группу входят 15 серий (58%), для которых оба эксперта подтвердили наличие COVID-19-ассоциированных изменений (оценка КТ1 и выше), но разошлись относительно объёма поражения лёгочной ткани. Это может быть связано с предпочитаемой плоскостью анализа изображений (аксиальная/фронтальная/сагиттальная) и направлением просмотра исследования (от верхушек лёгких к диафрагме или от диафрагмы к верхушкам лёгких), а также наличием в исследовании проявлений различных темпоральных стадий вирусной пневмонии, например, одновременно «матового стекла» и «булыжной мостовой». Поскольку коронавирусная пневмония более выражена в базальных отделах лёгких, просмотр аксиальных срезов от диафрагмы к верхушкам лёгких может исказить восприятие степени тяжести изменений экспертом в сторону повышения оценки по системе КТ 0–4. Использование сагиттальных мультисекционных или трёхмерных реконструкций позволяет «охватить» изменения одним взглядом, уменьшая риск завышения оценки степени поражения. Расхождения между

экспертами в первой группе подчёркивают значительный уровень субъективности визуальной оценки степени тяжести заболевания и необходимость изучения возможностей систем автоматического денситометрического анализа лёгочной паренхимы.

Во вторую группу входят 11 серий (42%), для которых один из экспертов не подтвердил наличия COVID-19-ассоциированных изменений (оценка КТ0). Это было связано с ложноположительными случаями (гипостатические изменения базальных отделов лёгких на фоне высокой априорной вероятности инфекции), отсутствием в классификации КТ 0–4 способа выражения вероятности коронавирусной природы изменений. Расхождения между экспертами во второй группе подчёркивают ценность совместного применения классификаций CO-RADS и КТ 0–4.

ОБСУЖДЕНИЕ

В данном исследовании было изучено согласие врачей-рентгенологов в оценке КТ и НДКТ ОГК по шкале КТ 0–4 в зависимости от массы тела пациента и керна реконструкции при COVID-19-ассоциированной пневмонии. Сравнительный анализ показал отсутствие статистически значимых различий. По причине необходимости балансировки размеров сопоставляемых выборок (по группам с различным ИМТ) пациенты были разделены на два класса: «норма» и «избыточный вес» по ИМТ, что могло повлиять на корректность интерпретации полученных результатов. Однако дополнительный анализ данных продемонстрировал инвариантность качественного результата («статистически значимых различий не обнаружено») к категории ожирения. С учётом ограничений исследования можно сделать вывод об отсутствии существенного влияния ИМТ пациента на согласие врачей при оценке поражения лёгких по шкале КТ 0–4. Таким образом, выбор протокола сканирования не зависит от ИМТ пациента.

Результаты настоящей работы предоставляют дополнительные обоснования в выборе минимально возможной дозы лучевой нагрузки для лиц с COVID-19, что обусловлено отсутствием влияния повышенного индекса массы тела на диагностическое качество изображений при использовании шкалы КТ 0–4. В свою очередь, выбор керна может опираться исключительно на личные предпочтения рентгенолога.

В 2016 г. Т. Kubo и соавт. [16] проводили сравнение диагностических возможностей НДКТ (50 мАс) и КТ (150 мАс) при рутинном исследовании ОГК. Три врача-рентгенолога независимо друг от друга проанализировали 118 серий изображений с толщиной среза 2 мм (по две серии для каждого пациента из выборки) с последующей оценкой следующих патологических находок: эмфизема, «матовые стёкла», ретикулярные изменения, микроузелки, бронхоэктазы, «сотовое лёгкое», узелки (>5 мм), аневризма аорты, кальцификация коронарных

артерий, перикардиальный и плевральный выпот, утолщение плевры, образования средостения и увеличение лимфатических узлов. Авторы сделали вывод, что протокол НДКТ может быть использован в рутинной практике врача-рентгенолога, что согласуется с полученными нами данными.

Известно, что изображения КТ-исследований, выполненных по низкодозному протоколу, имеют более низкое качество (меньшее отношение сигнал-шум) в сравнении с исследованием, выполненным по стандартному протоколу [17]. Таким образом, возникает необходимость использования дополнительных методов повышения качества изображений, особенно у пациентов с повышенной массой тела. Одним из таких методов является использование итеративных реконструкций [18].

В исследовании D.A. Filatova и соавт. [19] проводилось сравнение КТ и НДКТ ОГК при COVID-19 с использованием итеративных реконструкций. Объём выборки — 151 пациент. Выявлено отсутствие значимых потерь диагностической информации при НДКТ ОГК в сравнении со стандартным протоколом КТ. Таким образом, НДКТ ОГК можно использовать в рутинной практике для диагностики COVID-19 [19], что подтверждает полученные нами результаты. Однако в приведённом выше исследовании, в отличие от настоящего, оценку влияния ИМТ на качество анализа изображений не проводили.

Отдельно стоит отметить, что визуализация с использованием эффективных доз облучения $<0,3$ мЗв и итеративных реконструкций имеет ограничения для пациентов с интерстициальной пневмонией/эмфиземой лёгких и ИМТ >25 кг/м² [20].

Ограничения исследования

Данная работа имеет ряд ограничений. В исследовании использовали только одну модель компьютерного томографа: рекомендованные протоколы для других моделей и производителей могут отличаться от использованных нами. Для интерпретации исследований использовали только субъективную оценку рентгенологов по шкале КТ 0–4. Выводы настоящей работы основаны на анализе выборки, без группировки по степеням ожирения. Однако, как было показано, качественный исход оказался инвариантен к данному параметру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Islam N., Ebrahimzadeh S., Salameh J.P., et al. Thoracic imaging tests for the diagnosis of COVID-19 // *Cochrane Database Syst Rev*. 2020. Vol. 3, N 3. P. CD013639. doi: 10.1002/14651858.CD013639.pub4
2. Morozov S.P., Chernina V.Y., Blokhin I.A., Gomboleviskiy V. Chest computed tomography for outcome prediction in laboratory-confirmed COVID-19: a retrospective analysis of 38,051 cases // *Digital Diagnostics*. 2020. Vol. 1, N 1. P. 27–36. doi: 10.17816/DD46791

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, с учётом вышеупомянутых ограничений исследования можно сделать вывод об отсутствии значимых влияний ИМТ на интерпретацию КТ и НДКТ ОГК при COVID-19 по визуальной полуколичественной шкале КТ 0–4.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: И.А. Блохин — концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, написание текста статьи; А.П. Гончар — написание текста статьи; М.Р. Коденко — сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста статьи; А.В. Соловьев, А.В. Гомболеviskiy — написание текста статьи; Р.В. Решетников — концепция и дизайн исследования, написание текста статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors confirm that they meet the international ICMJE criteria for authorship (all authors made substantial contributions to the concept development, conducting the research and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). The largest contributions were as follows: I.A. Blokhin — concept and study design, data analysis, manuscript preparation; A.P. Gonchar — manuscript preparation; M.R. Kodenko — data collection and processing, data analysis, manuscript preparation; A.V. Solovjev, A.V. Gomboleviskiy — manuscript preparation; R.V. Reshetnikov — research concept and design, manuscript preparation.

3. Prasad K.N., Cole W.C., Haase G.M. Radiation protection in humans: extending the concept of as low as reasonably achievable (ALARA) from dose to biological damage // *Br J Radiol*. 2004. Vol. 77, N 914. P. 97–99. doi: 10.1259/bjr/88081058
4. Sakane H., Ishida M., Shi L., et al. Biological effects of low-dose chest CT on chromosomal DNA // *Radiol*. 2020. Vol. 295, N 2. P. 439–445. doi: 10.1148/radiol.2020190389

5. Du Y., Lv Y., Zha W., et al. Association of body mass index (BMI) with critical COVID-19 and in-hospital mortality: a dose-response meta-analysis // *Metabolism*. 2021. Vol. 117. P. 154373. doi: 10.1016/j.metabol.2020.154373
6. Ohana M., Ludes C., Schaal M., et al. Quel avenir pour la radiographie thoracique face au scanner ultra-low dose? // *Revue Pneumologie Clinique*. 2017. Vol. 73, N 1. P. 3–12. doi: 10.1016/j.pneumo.2016.09.007
7. Manowitz A., Sedlar M., Griffon M., et al. Use of BMI guidelines and individual dose tracking to minimize radiation exposure from low-dose helical chest CT scanning in a lung cancer screening program // *Academ Radiol*. 2012. Vol. 19, N 1. P. 84–88. doi: 10.1016/j.acra.2011.09.015
8. Paul N.S., Kashani H., Odedra D., et al. The influence of chest wall tissue composition in determining image noise during cardiac CT // *Am J Roentgenol*. 2011. Vol. 197, N 6. P. 1328–1334.
9. Blokhin I., Gombolevskiy V., Chernina V., et al. Inter-observer agreement between low-dose and standard-dose CT with soft and sharp convolution kernels in COVID-19 pneumonia // *J Clin Med*. 2022. Vol. 11, N 3. P. 669. doi: 10.3390/jcm11030669
10. Morozov S.P., Gombolevskiy V.A., Elizarov A.B., et al. A simplified cluster model and a tool adapted for collaborative labeling of lung cancer CT scans // *Computer Methods Programs Biomed*. 2021. Vol. 206. P. 106111. doi: 10.1016/j.cmpb.2021.106111
11. Powell-Wiley T.M., Poirier P., Burke L.E., et al. Obesity and cardiovascular disease: a scientific statement from the American Heart Association // *Circulation*. 2021. Vol. 143, N 21. P. e984–e1010. doi: 10.1161/CIR.0000000000000973
12. The R Foundation. The R Project for Statistical Computing [интернет]. Режим доступа: <https://www.r-project.org/>. Дата обращения: 15.03.2022.
13. Fisher R.A. XXI. — On the dominance ratio // *Proceedings Royal Soc Edinburgh*. 1923. Vol. 42. P. 321–341. doi: 10.1017/S0370164600023993
14. Levene H. Robust tests for equality of variances // Olkin I., Ghurye S., Hoeffding W., et al. Contributions to probability and statistics: essays in honor of harold hotelling. Stanford University Press, 1961. P. 279–292.
15. Mosteller F. Data analysis and regression: a second course in statistics. Addison-Wesley Pub. Co., Boston, 1977. 588 p.
16. Kubo T., Ohno Y., Nishino M., et al.; iLEAD Study Group. Low dose chest CT protocol (50 mAs) as a routine protocol for comprehensive assessment of intrathoracic abnormality // *Eur J Radiol Open*. 2016. Vol. 3. P. 86–94. doi: 10.1016/j.ejro.2016.04.001
17. Silin A.Y., Gruzdev I.S., Morozov S.P. The influence of model iterative reconstruction on the image quality in standard and low-dose computer tomography of the chest. Experimental study // *J Clin Pract*. 2020. Vol. 11, N 4. P. 49–54. doi: 10.17816/clinpract34900
18. Zhu Z., Ming Z.X., Feng Z.Y., et al. Feasibility study of using gemstone spectral imaging (GSI) and adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) for reducing radiation and iodine contrast dose in abdominal CT patients with high BMI values // *PLoS One*. 2015. Vol. 10, N 6. P. e0129201. doi: 10.1371/journal.pone.0129201
19. Filatova D.A., Sinitsin V.E., Mershina E.A. Opportunities to reduce the radiation exposure during computed tomography to assess the changes in the lungs in patients with COVID-19: use of adaptive statistical iterative reconstruction // *Digital Diagnostics*. 2021. Vol. 2, N 2. P. 94–104.
20. Lee S.W., Kim Y., Shim S.S., et al. Image quality assessment of ultra-low dose chest CT using sinogram-affirmed iterative reconstruction // *Eur Radiol*. 2014. Vol. 24, N 4. P. 817–826. doi: 10.1007/s00330-013-3090-9

REFERENCES

1. Islam N., Ebrahimzadeh S., Salameh JP, et al. Thoracic imaging tests for the diagnosis of COVID-19. *Cochrane Database Syst Rev*. 2021;3(3):CD013639. doi: 10.1002/14651858.CD013639.pub4
2. Morozov SP, Chernina VY, Blokhin IA, Gombolevskiy V. Chest computed tomography for outcome prediction in laboratory-confirmed COVID-19: a retrospective analysis of 38,051 cases. *Digital Diagnostics*. 2020;1(1):27–36. doi: 10.17816/DD46791
3. Prasad KN, Cole WC, Haase GM. Radiation protection in humans: extending the concept of as low as reasonably achievable (Alara) from dose to biological damage. *BJR*. 2004;77(914):97–99. doi: 10.1259/bjr/88081058
4. Sakane H, Ishida M, Shi L, et al. Biological effects of low-dose chest CT on chromosomal DNA. *Radiol*. 2020;295(2):439–445. doi: 10.1148/radiol.2020190389
5. Du Y, Lv Y, Zha W, et al. Association of body mass index (BMI) with critical COVID-19 and in-hospital mortality: a dose-response meta-analysis. *Metabolism*. 2021;117:154373. doi: 10.1016/j.metabol.2020.154373
6. Ohana M, Ludes C, Schaal M, et al. Quel avenir pour la radiographie thoracique face au scanner ultra-low dose? *Revue Pneumologie Clinique*. 2017;73(1):3–12. doi: 10.1016/j.pneumo.2016.09.007
7. Manowitz A, Sedlar M, Griffon M, et al. Use of BMI guidelines and individual dose tracking to minimize radiation exposure from low-dose helical chest CT scanning in a lung cancer screening program. *Academ Radiol*. 2012;19(1):84–88. doi: 10.1016/j.acra.2011.09.015
8. Paul NS, Kashani H, Odedra D, et al. The influence of chest wall tissue composition in determining image noise during cardiac CT. *Am J Roentgenol*. 2011;197(6):1328–1334. doi: 10.2214/AJR.11.6816
9. Blokhin I, Gombolevskiy V, Chernina V, et al. Inter-observer agreement between low-dose and standard-dose CT with soft and sharp convolution kernels in COVID-19 pneumonia. *J Clin Med*. 2022;11(3):669. doi: 10.3390/jcm11030669
10. Morozov SP, Gombolevskiy VA, Elizarov AB, et al. A simplified cluster model and a tool adapted for collaborative labeling of lung cancer CT scans. *Computer Methods Programs Biomed*. 2021;206:106111. doi: 10.1016/j.cmpb.2021.106111
11. Powell-Wiley TM, Poirier P, Burke LE, et al. Obesity and cardiovascular disease: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2021;143(21):e984–e1010. doi: 10.1161/CIR.0000000000000973
12. The R Foundation. The R Project for Statistical Computing [Internet]. Available from: <https://www.r-project.org/>. Accessed: 15.03.2022.
13. Fisher RA. XXI. —On the dominance ratio. *Proceedings Royal Soc Edinburgh*. 1923;42:321–341. doi: 10.1017/S0370164600023993
14. Levene H. Robust tests for equality of variances. In: Olkin I, Ghurye S, Hoeffding W, et al. Contributions to probability and statistics: essays in honor of harold hotelling. Stanford University Press; 1961. P. 279–292.
15. Mosteller F. Data analysis and regression: a second course in statistics. Addison-Wesley Pub. Co., Boston; 1977. 588 p.

16. Kubo T, Ohno Y, Nishino M, et al. Low dose chest CT protocol (50 mas) as a routine protocol for comprehensive assessment of intrathoracic abnormality. *Eur J Radiol Open*. 2016;3:86–94. doi: 10.1016/j.ejro.2016.04.001
17. Silin AY, Gruzdev IS, Morozov SP. The influence of model iterative reconstruction on the image quality in standard and low-dose computer tomography of the chest. Experimental study. *J Clin Pract*. 2020;11(4):49–54. doi: 10.17816/clinpract34900
18. Zhu Z, Ming ZX, Feng ZY, et al. Feasibility study of using gemstone spectral imaging (GSI) and adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) for reducing radiation and iodine contrast dose in abdominal

- CT patients with high BMI values. *PLOS ONE*. 2015;10(6):e0129201. doi: 10.1371/journal.pone.0129201
19. Filatova DA, Sinitsin VE, Mershina EA. Opportunities to reduce the radiation exposure during computed tomography to assess the changes in the lungs in patients with COVID-19: use of adaptive statistical iterative reconstruction. *Digital Diagnostics*. 2021;2(2):94–104. doi: 10.17816/DD62477
20. Lee SW, Kim Y, Shim SS, et al. Image quality assessment of ultra-low dose chest CT using sinogram-affirmed iterative reconstruction. *Eur Radiol*. 2014;24(4):817–826. doi: 10.1007/s00330-013-3090-9

ОБ АВТОРАХ

*** Блохин Иван Андреевич;**

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>;
eLibrary SPIN: 3306-1387; e-mail: i.blokhin@npcmr.ru

Гончар Анна Павловна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5161-6540>;
eLibrary SPIN: 3513-9531; e-mail: a.gonchar@npcmr.ru

Коденко Мария Романовна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0166-3768>;
eLibrary SPIN: 5789-0319; e-mail: m.kodenko@npcmr.ru

Соловьев Александр Владимирович;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4485-2638>;
eLibrary SPIN: 9654-4005; e-mail: a.solovev@npcmr.ru

Гомболевский Виктор Александрович, к.м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>;
eLibrary SPIN: 6810-3279; e-mail: g_victor@mail.ru

Решетников Роман Владимирович, к.ф.-м.н.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9661-0254>;
eLibrary SPIN: 8592-0558; e-mail: reshetnikov@fbb.msu.ru

AUTHORS' INFO

*** Ivan A. Blokhin, MD;**

address: Petrovka st. 24 bld, 1, Moscow, 127051, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>;
eLibrary SPIN: 3306-1387; e-mail: i.blokhin@npcmr.ru

Anna P. Gonchar, MD;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5161-6540>;
eLibrary SPIN: 3513-9531; e-mail: a.gonchar@npcmr.ru

Maria R. Kodenko,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0166-3768>;
eLibrary SPIN: 5789-0319; e-mail: m.kodenko@npcmr.ru

Alexander V. Solovev, MD;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4485-2638>;
eLibrary SPIN: 9654-4005; e-mail: a.solovev@npcmr.ru

Victor A. Gombolevskiy, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>;
eLibrary SPIN: 6810-3279; e-mail: g_victor@mail.ru

Roman V. Reshetnikov, Cand. Sci. (Phys.-Math.);

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9661-0254>;
eLibrary SPIN: 8592-0558; e-mail: reshetnikov@fbb.msu.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author