

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321670>

# Опыт применения мобильного компьютерного томографа в резервном госпитале для лечения пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19

Н.Д. Кудрявцев<sup>1</sup>, А.В. Петряйкин<sup>1</sup>, Е.С. Ахмад<sup>1</sup>, Ф.А. Киселев<sup>1</sup>, В.В. Бурашов<sup>1</sup>,  
А.Н. Мухортова<sup>1</sup>, И.В. Солдатов<sup>1</sup>, А.С. Шкода<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация;

<sup>2</sup> Городская клиническая больница № 67 имени Л.А. Ворохобова, Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

Пандемия новой коронавирусной инфекции COVID-19 бросила вызов системам здравоохранения практически всех стран мира. От организаторов здравоохранения требовалось принятие оперативных и эффективных решений для обеспечения высокого качества оказания медицинской помощи в новых условиях. Потребность в формировании резервного коечного фонда при пандемии была обусловлена высокой нагрузкой на городские больницы в Москве, в связи с чем в непрофильных сооружениях (ледовые арены, торговые центры, выставочные павильоны) были организованы временные резервные госпитали для лечения пациентов с COVID-19. Это потребовало поиска решений для обеспечения необходимого уровня диагностики и лечения, соответствующего профилю медицинского учреждения. С учётом технических и временных ограничений, связанных с установкой стационарного компьютерного томографа, одним из решений была установка мобильного компьютерного томографа.

Целью работы было поделиться опытом использования мобильного компьютерного томографа в условиях временного резервного госпиталя для лечения пациентов с коронавирусной инфекцией COVID-19. В работе представлена информация о характеристиках мобильного компьютерного томографа; отмечены его преимущества и недостатки; представлен вариант планировки аппаратной, пультовой комнат и вариант размещения томографа; представлены результаты дозиметрических исследований; дана клиническая оценка применимости подобного типа диагностических устройств.

**Ключевые слова:** мобильный компьютерный томограф; пандемия коронавирусной инфекции; COVID-19; отделение лучевой диагностики.

## Как цитировать:

Кудрявцев Н.Д., Петряйкин А.В., Ахмад Е.С., Киселев Ф.А., Бурашов В.В., Мухортова А.Н., Солдатов И.В., Шкода А.С. Опыт применения мобильного компьютерного томографа в резервном госпитале для лечения пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 3. С. 427–438. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321670>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321670>

# Using a mobile computer tomography scanner in a field hospital setting to manage patients with COVID-19

Nikita D. Kudryavtsev<sup>1</sup>, Alexey V. Petraikin<sup>1</sup>, Ekaterina S. Akhmad<sup>1</sup>, Fyodor A. Kiselev<sup>1</sup>, Vyacheslav V. Burashov<sup>1</sup>, Anna N. Mukhortova<sup>1</sup>, Ilya V. Soldatov<sup>1</sup>, Andrey S. Shkoda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation;

<sup>2</sup> City Clinical Hospital No. 67 named after L.A. Vorokhobov, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

The global outbreak of COVID-19 has posed unprecedented challenges to healthcare systems worldwide. Healthcare administrators had to make quick and effective decisions to ensure high quality of medical care standards in new conditions. The need to form a reserve bed fund during the pandemic was due to the high load on city hospitals in Moscow. Due to this fact, temporary reserved hospitals for COVID-19 patients were organized in non-core facilities, such as ice arenas, shopping malls, and exhibition pavilions. This urgency prompted a search for solutions that could provide the necessary level of diagnosis and treatment appropriate to specialized medical facility. Given the technical and time constraints associated with the installation of a fixed computer tomographic scanner, the deployment of mobile computer tomographic scanners emerged as a viable option. The study aims to share insights gained from using a mobile computer tomographic scanner within a temporary backup hospital setting to treating patients with COVID-19 coronavirus infection. The paper discusses the features, advantages, and disadvantages of mobile computer tomography. It also presents hardware and control room layouts, along with the placement options for the computer tomography device. The research includes the results of dosimetry studies and provides a clinical assessment of the applicability of this type of diagnostic devices.

**Keywords:** computer tomographic scanner; COVID-19 pandemics; radiology departments.

## To cite this article:

Kudryavtsev ND, Petraikin AV, Akhmad ES, Kiselev FA, Burashov VV, Mukhortova AN, Soldatov IV, Shkoda AS. Using a mobile computer tomography scanner in a field hospital setting to manage patients with COVID-19. *Digital Diagnostics*. 2023;4(3):427–438. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321670>

Received: 11.04.2023

Accepted: 17.04.2023

Published: 25.05.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321670>

# 在备用医院使用移动式电脑断层扫描仪治疗新型冠状病毒感染 ( COVID-19 ) 患者的经验

Nikita D. Kudryavtsev<sup>1</sup>, Alexey V. Petraikin<sup>1</sup>, Ekaterina S. Akhmad<sup>1</sup>, Fyodor A. Kiselev<sup>1</sup>, Vyacheslav V. Burashov<sup>1</sup>, Anna N. Mukhortova<sup>1</sup>, Ilya V. Soldatov<sup>1</sup>, Andrey S. Shkoda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> City Clinical Hospital No. 67 named after L.A. Vorokhobov, Moscow, Russian Federation

## 简评

新型冠状病毒感染 ( COVID-19 ) 的大流行给世界上几乎所有国家的卫生系统带来了挑战。医疗保健组织者需要做出迅速有效的决定, 以确保在新的条件下提供高质量的医疗保健服务。在大流行期间, 由于莫斯科的城市医院负担格外沉重, 因此需要建立一个备用床基金, 并在非核心建筑物 ( 冰上运动场、购物中心、展览馆 ) 中建立临时备用医院, 以治疗 COVID-19 患者。这就需要寻找解决方案, 以在专业医疗机构中提供必要水平的诊断和治疗。考虑到安装固定式电脑断层扫描仪的技术和时间限制, 解决方案之一是安装移动式电脑断层扫描仪。本文旨在分享在临时备用医院使用移动式电脑断层扫描仪治疗冠状病毒感染 COVID-19 病人的经验。该文章介绍移动式电脑断层扫描仪的特性; 指出其优缺点; 介绍设备室、控制室的布局变式和电脑断层扫描仪的摆放变式; 介绍剂量测定研究的结果; 对此类诊断设备的适用性进行了临床评估。

**关键词:** 移动式电脑断层扫描仪; 冠状病毒大流行; COVID-19; 放射诊断科。

## 引用本文:

Kudryavtsev ND, Petraikin AV, Akhmad ES, Kiselev FA, Burashov VV, Mukhortova AN, Soldatov IV, Shkoda AS. 在备用医院使用移动式电脑断层扫描仪治疗新型冠状病毒感染 ( COVID-19 ) 患者的经验. *Digital Diagnostics*. 2023;4(3):427-438. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321670>

收到: 11.04.2023

接受: 17.04.2023

发布日期: 25.05.2023

## ВВЕДЕНИЕ

Потребность в формировании резервного коечного фонда при пандемии коронавирусной инфекции COVID-19 обусловлена высокой нагрузкой на городские больницы в Москве. В этой связи в непрофильных сооружениях — на ледовых аренах, в торговых центрах и выставочных павильонах — были организованы временные резервные госпитали для лечения пациентов с COVID-19, что потребовало поиска решений по обеспечению необходимого уровня диагностики и лечения, соответствующего профильному медицинскому учреждению [1]. Один из резервных госпиталей был организован на базе ледового комплекса «Крылатское» (ГБУЗ ГКБ № 67 им. Л.А. Ворохобова ДЗМ); рис. 1.

Методы лучевой диагностики, в частности компьютерная томография, рекомендованы для выявления признаков вирусной пневмонии, вызванной COVID-19, и дифференциальной диагностики с другими заболеваниями лёгких, а также для определения степени выраженности, динамики изменений и оценки эффективности проводимой терапии [2–4]. С учётом технических и временных ограничений, связанных с установкой стационарного компьютерного томографа, одним из решений была установка мобильного компьютерного томографа (КТ) Airo TruCT (Stryker, США).

Цель данной работы — оценить эффективность применения мобильного КТ в условиях временного резервного госпиталя для лечения пациентов с коронавирусной инфекцией COVID-19.

## МОБИЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТОМОГРАФ: ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВРЕМЕННОГО РЕЗЕРВНОГО ГОСПИТАЛЯ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С COVID-19

### Общие характеристики мобильного компьютерного томографа

Мобильный КТ Airo TruCT предназначен для применения в нейрохирургических операционных, однако производитель не исключает его использования в целях диагностики ургентной патологии других анатомических областей<sup>1</sup>. Мобильный КТ Airo TruCT имеет компактный размер (рис. 2), что упрощает его монтаж и транспортировку. КТ-система состоит из передвижного основания, на которое установлена гентри с диаметром апертуры 107 см и 32 рядами детекторов шириной 1 мм. Управление КТ осуществляется через проводную консоль

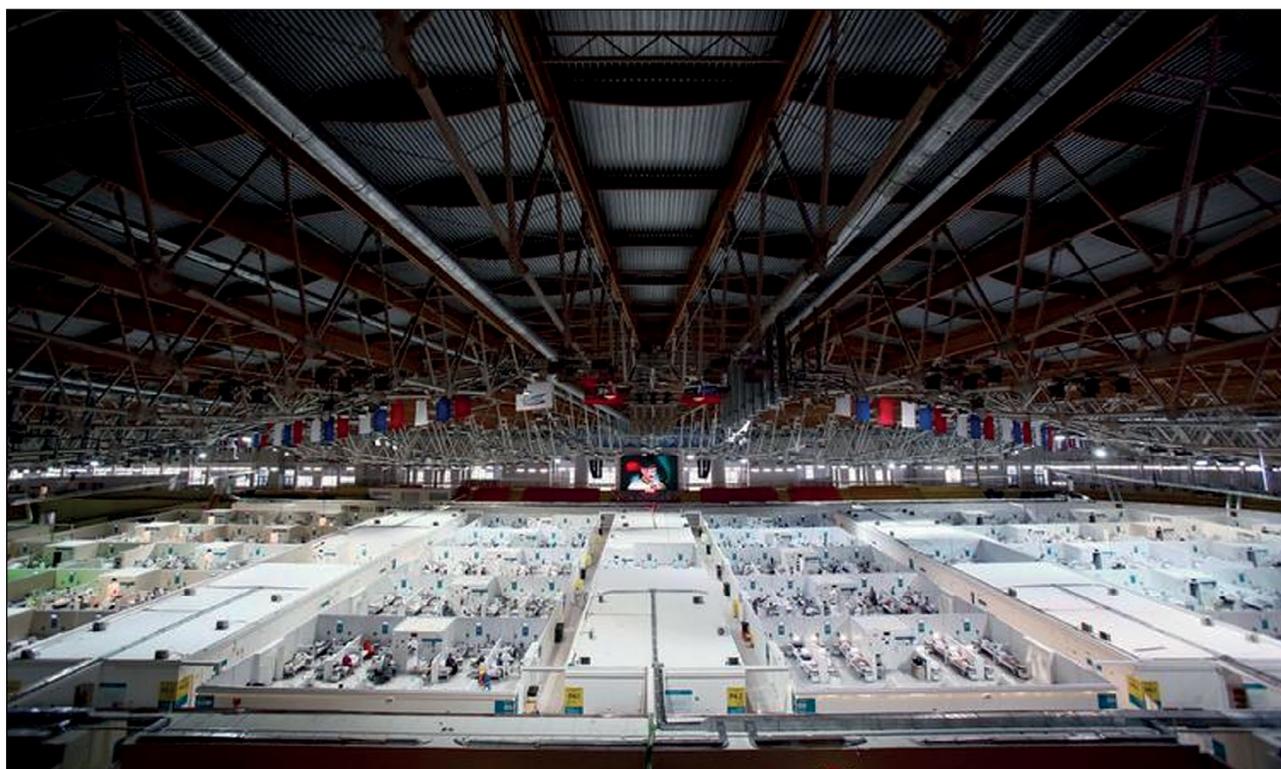


Рис. 1. Резервный временный госпиталь для лечения пациентов с COVID-19, развёрнутый в ледовом комплексе «Крылатское» в Москве. Фотография Reuters (<https://pictures.reuters.com/>).

<sup>1</sup> Stryker.com [интернет]. Neurosurgery (<https://www.stryker.com/us/en/spine/products/airo-truact/imaging/clinical/neurosurgery.html>); Airo Truact Mobile Imaging System (<https://www.stryker.com/us/en/spine/products/airo-truact/imaging.html>).



Рис. 2. Мобильный компьютерный томограф, подготовленный к проведению исследования.



Рис. 3. Консоль управления мобильным компьютерным томографом Airo TruCT.

с длиной провода 5 м (рис. 3). Мобильный КТ нетребователен к параметрам источника питания и подключается в электрическую сеть мощностью 1,5 кВт, однако система блока питания позволяет проводить сканирование с параметрами 120 kV и 250 mA, что соответствует мощности 30 кВт.

### Размещение и дозиметрия

Кабинет КТ прошёл техническую паспортизацию совместно с техническими испытаниями оборудования (контроль эксплуатационных параметров) и радиационным контролем на рабочих местах и смежных с процедурной помещениях по действующим актуальным нормативным актам и методикам испытаний (измерений).

Процедурная КТ-кабинета располагается в приёмном отделении на первом этаже ледового комплекса «Крылатское» (рис. 4). Большой поток пациентов и нестандартное

(off label) применение данного оборудования потребовало ряда технических решений:

- 1) для обеспечения радиационной безопасности рентгенлаборантов консоль управления КТ была выведена в комнату управления;
- 2) из-за отсутствия в комнате управления смотрового окна была установлена видеосистема, позволяющая контролировать состояние пациента и ход выполнения исследования;
- 3) в связи с отсутствием встроенных звуковых команд для задержки дыхания связь с пациентом во время исследования была организована посредством портативных радиостанций Baofeng.

Расчёт защиты от ионизирующего излучения в смежных помещениях выполнен в соответствии с российскими требованиями к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов с учётом особенностей функционирования КТ

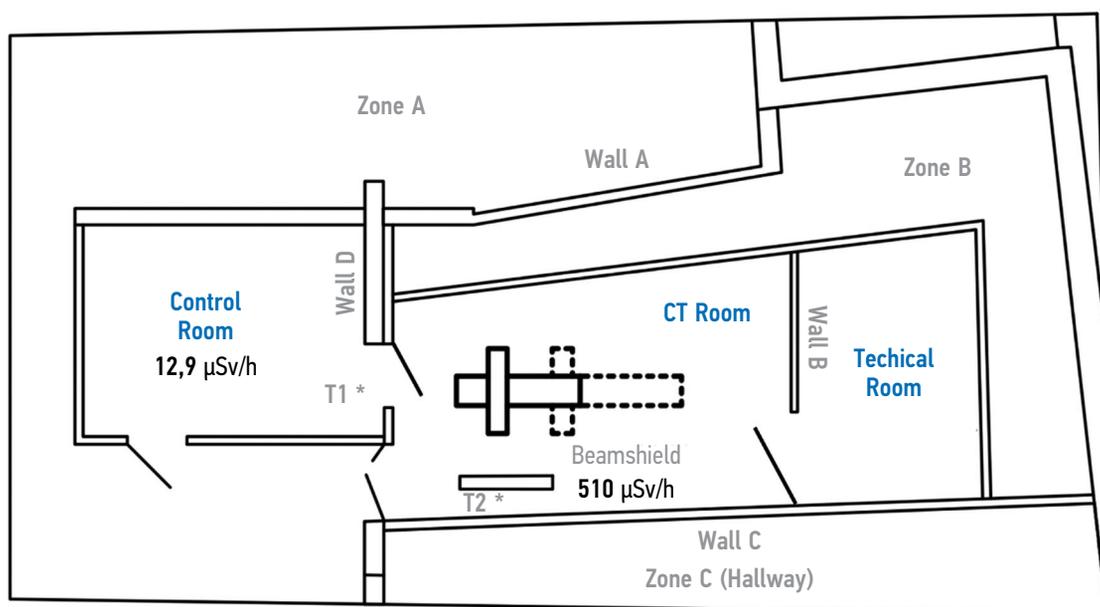


Рис. 4. Схема проекта организации компьютерно-томографической процедурной, комнаты управления и кабинета врача-рентгенолога: помещение А (Zone А) — пространство павильона; помещение Б (Zone В) — техническая зона; помещение В (Zone С) — коридор (помещения А, Б, В — зоны без постоянного пребывания персонала).

Airo TruCT (во время сканирования происходит перемещение гентри томографа, при этом стол с пациентом находится в неподвижном состоянии). В качестве защиты в стационарных ограждающих конструкциях помещения используются листы рентгенозащитного гипсокартона фирмы Knauf (Iphofen, Германия).

Дозиметрический контроль на рабочих местах, в смежных помещениях и на прилегающих территориях показал, что величины мощностей доз в измеряемых точках не превышают допустимых в действующих нормативных документах (см. рис. 4).

### Технический контроль качества эксплуатационных параметров

Проведена стандартная оценка эксплуатационных параметров КТ-системы согласно действующим руководствам<sup>2</sup>. Оценивались общие механические характеристики оборудования; суммарная фильтрация; слой половинного ослабления; величина пульсации анодного напряжения; анодное напряжение; время экспозиции; линейность дозы излучения; повторяемость дозы излучения; параметры качества томографического изображения.

По результатам проведенных испытаний КТ-система соответствует эксплуатационным характеристикам и требованиям стандартов.

### Клиническое применение

Во временный резервный госпиталь направлялись пациенты с лёгкой и средней степенью тяжести течения

COVID-19 [2] с соответствующим объёмом поражения паренхимы лёгких КТ-1 и КТ-2, требующие стационарного лечения и наблюдения. Всем пациентам, поступившим в приёмное отделение, проводилось КТ-исследование органов грудной клетки; исключением являлось наличие результатов недавно выполненного КТ-исследования (не более 4 дней). При выполнении КТ распределение пациентов по степени тяжести для случайной выборки из 500 пациентов составляло 155 (31,0%), 202 (40,4%), 109 (21,8%) и 34 (6,8%) для КТ-1, КТ-2, КТ-3 и КТ-4 соответственно. КТ-исследования с контрастным усилением не были предусмотрены ввиду значительных энергетических затрат и возможного перегрева рентгеновской трубки при мультифазном сканировании; ограничением для данной методики была и относительная длительность сканирования.

При наличии клинических показаний проводились КТ-исследования головного мозга и головы, органов брюшной полости и забрюшинного пространства, органов малого таза, позвоночника и конечностей (параметры сканирования приведены в табл. 1).

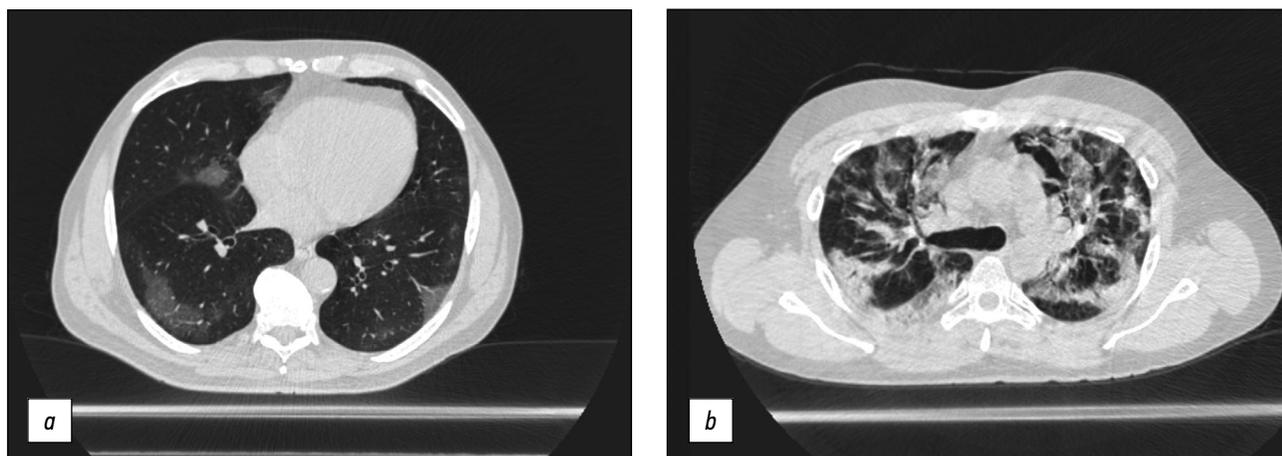
Несомненным преимуществом оказалась широкая (107 см) апертура гентри.

*Органы грудной клетки.* Большая часть КТ-исследований проведена с целью диагностики или динамического наблюдения вирусной пневмонии COVID-19. Указанные в табл. 1 параметры сканирования позволили получить изображения достаточного качества для дифференциальной диагностики между вирусной пневмонией,

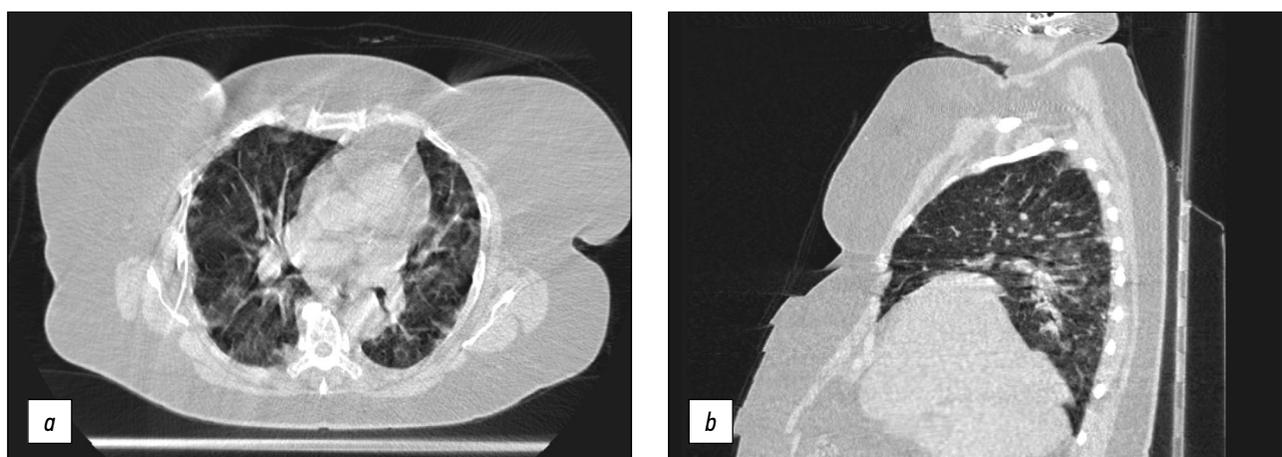
Таблица 1. Стандартизированные протоколы сканирования для разных анатомических областей

Анатомическая область	Органы грудной клетки	Головной мозг	Органы брюшной полости
Направление сканирования	Краниокаудальное	Краниокаудальное	Краниокаудальное
Тип сканирования	Спиральное	Спиральное	Спиральное
Электрическое напряжение, кВ	120	120	120
Сила электрического тока, мА	38	155	69
Толщина среза, мм	1,0	1,0	1,0
Питч-фактор	1,415	1,415	1,415
Время оборота рентгеновской трубки, сек	1,92	1,92	1,92
Матрица реконструкции, рх	512×512	512×512	512×512
Длительность сканирования, сек	12	8	16
Поглощённая доза излучения (DLP), мГр*см	230,7	1186,8	564
Протяжённость сканирования, см	30	20	40

<sup>2</sup> Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов АО «Кодекс» [интернет]. ГОСТ Р МЭК 61223-2-6-2001 Оценка и контроль эксплуатационных параметров рентгеновской аппаратуры в отделениях (кабинетах) рентгенодиагностики. Часть 2-6. Испытания на постоянство параметров. Аппараты для рентгеновской компьютерной томографии (<https://docs.cntd.ru/document/1200029048>); ГОСТ Р 51746-2001 Оценка и контроль эксплуатационных параметров рентгеновской аппаратуры в отделениях (кабинетах) рентгенодиагностики. Часть 1. Общие требования (<https://docs.cntd.ru/document/1200012982>); ГОСТ Р МЭК 61223-3-5-2008 Оценка и контроль эксплуатационных параметров в отделениях лучевой диагностики. Часть 3-5. Приемочные испытания. Оценка эксплуатационных характеристик рентгеновской аппаратуры для компьютерной томографии (<https://docs.cntd.ru/document/1200071695>); ГОСТ Р МЭК 60601-2-44-2013 Изделия медицинские электрические. Часть 2-44. Частные требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик к рентгеновским компьютерным томографам (<https://docs.cntd.ru/document/1200105919>).



**Рис. 5.** Аксиальные компьютерно-томографические срезы органов грудной клетки в лёгочном окне: *a* — определяются полиморфные, преимущественно субплевральные участки уплотнения паренхимы лёгких по типу матового стекла, что соответствует КТ-картине вирусной пневмонии (в том числе COVID-19), тяжесть поражения КТ-1; *b* — определяются многочисленные полиморфные с тенденцией к слиянию участки уплотнения паренхимы по типу консолидации в сочетании с участками «матового стекла» и слабовыраженными ретикулярными изменениями, тяжесть поражения КТ-3.



**Рис. 6.** Аксиальный и сагиттальный компьютерно-томографические срезы органов грудной клетки в лёгочном окне: *a* — артефакты движения; *b* — ступеньки (motion-, step-артефакты), вызванные дыхательными движениями грудной клетки в момент сканирования.

кардиогенным отёком лёгких и бактериальной пневмонией. На рис. 5 представлены результаты КТ-исследования пациентов с COVID-19-ассоциированной вирусной пневмонией.

Длительное (15–25 секунд) сканирование, по сравнению со стационарными КТ (3–5 секунд), не позволяло пациентам с дыхательной недостаточностью задерживать дыхание на всё время проведения исследования. Из-за этого на КТ-изображениях возникали артефакты движения (рис. 6, *a*) и ступеньки (рис. 6, *b*) — motion-, step-артефакты, вызванные дыхательными движениями грудной клетки.

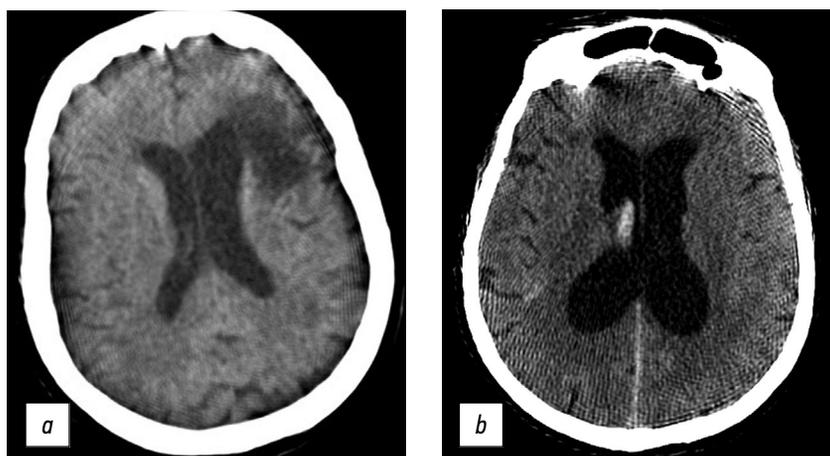
**Головной мозг.** КТ-исследования головного мозга и костей черепа проводились с целью диагностики острого нарушения мозгового кровообращения, внутрисерепных гематом, новообразований головного мозга и травматических повреждений костей черепа (рис. 7).

Отмечено, что КТ-изображения головного мозга сопровождаются артефактами различной природы: артефакты

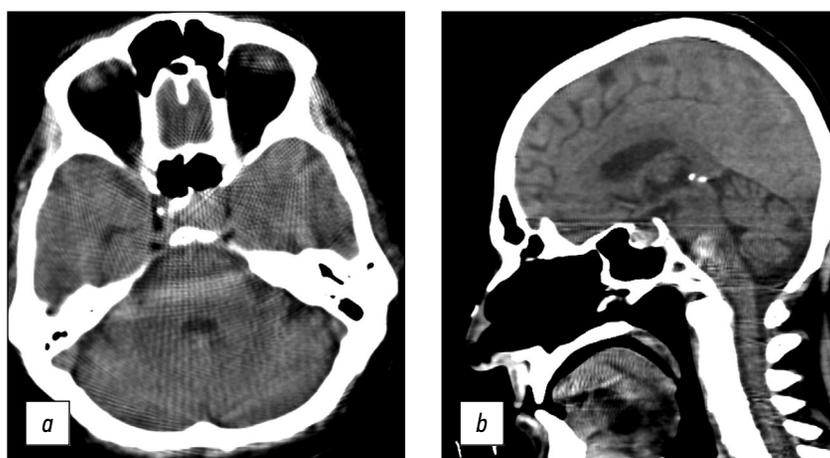
ветряной мельницы (windmill) (рис. 8, *a*), комбинирующиеся с линейными артефактами (strike) и спирального сканирования (helical) [5], артефактами, усиливающимися на основании черепа, где существенную роль также начинают играть артефакты, вызванные эффектом увеличения жёсткости излучения (beam hardening) и рассеяния (scattering) (рис. 8, *b*), в связи с чем оценка субтенториальных областей головного мозга была затруднительна.

**Органы брюшной полости.** КТ-исследования органов брюшной полости проводились с целью диагностики острой патологии брюшной полости при подозрении на кишечную непроходимость, для выявления свободной жидкости или газа (рис. 9).

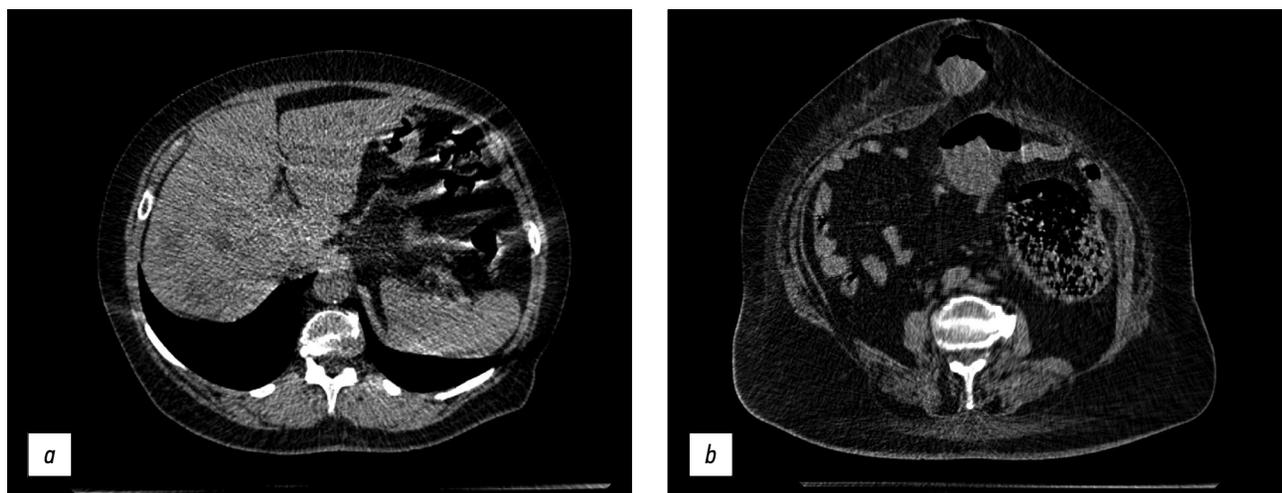
При исследовании органов брюшной полости также выявлялись артефакты на границе сред со значительными различиями в плотности: газ в кишечнике и окружающие мягкие ткани (gas-interface artifact), артефакты спирального сканирования (helical).



**Рис. 7.** Аксиальные компьютерно-томографические изображения головного мозга: *a* — реконструкция 3 мм участка пониженной плотности у переднего рога левого бокового желудочка, перивентрикулярно, субкортикально (КТ-картина подострого нарушения мозгового кровообращения в бассейне левой средней мозговой артерии); *b* — участок (1 мм) субарахноидального кровоизлияния с прорывом крови в желудочковую систему (викарная гидроцефалия).



**Рис. 8.** На аксиальном (*a*) и сагитальном (*b*) компьютерно-томографическом изображении головы в области задней черепной ямки и основания черепа определяются артефакты ветряной мельницы (windmill), линейные артефакты (strike), а также вызванные эффектами усиления жёсткости луча (beam hardening) и рассеяния (scattering). Оценка изображения вблизи костных структур и задней черепной ямки затруднена.



**Рис. 9.** Аксиальные компьютерно-томографические изображения органов брюшной полости: *a* — КТ-картина многочисленных гиподенсных образований обеих долей печени, артефакты спирального сканирования и обусловленные границей газа (helical, gas interface artifacts) в области кишечника; *b* — КТ-картина ущемлённой пупочной грыжи.

Сканирование с указанными в табл. 1 параметрами позволяло получать изображения достаточного качества для диагностики патологии органов брюшной полости и забрюшинного пространства (жировой гепатоз, жёлчно-каменная болезнь, гиперплазия и инциденталомы надпочечников, кисты почек и мочекаменная болезнь, очаговые образования печени и другие патологические состояния).

### Оценка эффективности применения мобильного компьютерного томографа

С начала работы временного резервного госпиталя (11.08.2020) по 31 января 2021 года было проведено 6264 КТ-исследования, из них 6126 (97,80%) — органов грудной клетки, 98 (1,56%) — головного мозга, 31 (0,49%) — органов брюшной полости, 9 (0,14%) — другие. Средняя лучевая нагрузка при КТ-исследовании органов грудной клетки составила 3,22 мЗв, головного мозга — 2,49 мЗв, органов брюшной полости — 8,46 мЗв.

Для оценки эффективности применения КТ рассчитывался параметр загрузки, равный отношению среднего числа исследований в день к их нормативному значению для Москвы (41 исследование в сутки для трёхсменного режима работы): в среднем выполнялось 44 исследования в сутки при трёхсменном режиме работы (от 14 исследований на начальном этапе работы временного госпиталя до 110 исследований и более в сутки при наибольшем потоке госпитализаций), что составило 106% от рекомендованной загрузки. Сравнение использования мобильного КТ Airo TruCT со стационарными КТ модели Aquilion Prime либо Revolution EVO показало сопоставимые уровни загрузки: для данных стационарных КТ в двух медицинских организациях загрузка составила в среднем 113%. Как было отмечено выше, исследований с контрастным усилением не проводилось.

Указанная загрузка демонстрирует высокую эффективность применения данного оборудования, обосновывает целесообразность использования мобильного КТ во временных госпиталях. Однако при интенсивной работе мобильного КТ отмечалось появление технических ошибок, что впоследствии могло привести к остановке работы оборудования для ремонта. Чтобы продлить время работы мобильного КТ и избежать возникновения технических проблем, производитель рекомендует проводить не более 6 исследований в час.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Пандемия коронавирусной инфекции COVID-19 подняла следующие вопросы организации помощи пациентам в условиях стационаров: увеличение коечного фонда, организация временных госпиталей и материально-техническое обеспечение этих решений [6].

Одним из решений для обеспечения доступности КТ-исследований во временных госпиталях является оснащение и применение мобильных компактных компьютерных

томографов. В данной работе обобщён опыт применения мобильного КТ Airo TruCT. Данное диагностическое устройство имеет такие несомненные преимущества, как неприхотливость к параметрам энергообеспечения, упрощённый монтаж и мобильность устройства, что позволило в короткие сроки выполнить проектирование помещения для размещения мобильного КТ и оперативно ввести в эксплуатацию данное оборудование.

Мобильный КТ позволил получить КТ-изображения органов грудной клетки приемлемого для диагностики вирусной пневмонии качества (см. рис. 5 а), а пропускная способность в форсированном режиме обеспечила доступность КТ-исследований для временного госпиталя на 1300 коек. Пиковая нагрузка составила 110 исследований в сутки, а среднее значение — 44. Такое решение отличается от модульных и мобильных КТ, развёрнутых на трейлерах [7], при этом основное различие заключается в ином типе применяемого КТ.

Между тем был отмечен ряд ограничений, позволяющих рассматривать установку мобильного КТ в текущей модификации как вынужденное решение. Так, медленная скорость сканирования по сравнению со стационарными КТ-сканерами приводит к возникновению артефактов от движений. Для уменьшения количества артефактов от дыхательных движений было предложено проводить КТ-сканирование органов грудной клетки в каудоокраниальном направлении [8]. В рассмотренном примере использования Airo TruCT это было невозможно из-за особенностей планировки процедурной комнаты (ограничение движения гентри томографа, вызванное недостаточной длиной провода консоли управления). Проблема была решена путём отсроченной команды на задержку дыхания примерно через 3–4 секунды от начала сканирования. Несмотря на то, что на КТ-изображениях в апикальных сегментах лёгких отмечались артефакты движения и ступеньки, базальные отделы визуализировались оптимально. Это важно, поскольку участки уплотнения паренхимы лёгких по типу матового стекла или консолидации при вирусной пневмонии, вызванной коронавирусной инфекцией COVID-19, располагаются именно в дорсальных отделах нижних долей [9]. Также были применены несложные технические решения, адаптирующие нестандартное применение мобильного КТ Airo TruCT, — портативные рации и видеосвязь. Выявленное значительное количество артефактов требует разработки дополнительных алгоритмов сканирования, реконструкции и постобработки, а также оптимизации параметров сканирования [10].

Несмотря на мобильность и простоту установки мобильного КТ, помещение аппаратной должно быть спроектировано с учётом всех требований радиационной безопасности (см. рис. 2).

Помимо временных резервных госпиталей для лечения пациентов с COVID-19, применение мобильного КТ может быть эффективно в медицинских учреждениях,

где невозможно установить стационарный компьютерный томограф или где основной компьютерный томограф вышел из строя. Мобильные КТ могут быть использованы в удалённых населённых пунктах и при развёртывании временных мобильных госпиталей для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Применение мобильных КТ открывает в том числе новые возможности для проведения научных исследований: например, мобильный КТ, о котором шла речь в данной публикации, применялся в научном исследовании по влиянию новой коронавирусной инфекции COVID-19 на сердечно-сосудистую систему [11]. Применение мобильного КТ Airo TruCT обеспечило необходимую диагностическую эффективность при проведении исследований органов грудной клетки, головного мозга, а также органов брюшной полости и забрюшинного пространства в условиях временного госпиталя для лечения пациентов с COVID-19.

Выявленные недостатки позволили сформировать список требований к мобильным КТ, обосновать необходимость разработки нового типа КТ-оборудования, а именно: нетребовательного к энергопитанию; с возможностью быстрого проектирования помещений для разворачивания во временных госпиталях, возможностью использованию в условиях чрезвычайных ситуаций, а также в отдалённых районах с неподготовленной инфраструктурой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инсталляция мобильного КТ в резервном госпитале для лечения пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 была вынужденной мерой, обусловленной стремительным развитием пандемии. Мобильный КТ Airo TruCT предназначен для работы в условиях нейрохирургических операционных, однако, несмотря на «нецелевое» использование мобильного КТ, удалось обеспечить удовлетворительное качество выполняемых исследований. Альтернативой мобильному КТ может быть стационарный КТ, размещённый в трейлере или отдельном модуле, но такой тип оборудования имеет свои недостатки (например, сложность транспортировки и размещение вне медицинского учреждения; сложность сканирования пациентов в тяжёлом состоянии). В свою очередь, КТ Airo TruCT обладает высокой мобильностью и упрощёнными требованиями к помещению и электропитанию, а для его перемещения требуется участие лишь одного человека, но высокая мобильность этого устройства сказывается на качестве диагностических изображений.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНО

**Источник финансирования.** Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР «Научно-методические основы цифровой трансформации службы лучевой диагностики»,

(№ ЕГИСУ: № 123031400118-0) в соответствии с Приказом Департамента здравоохранения города Москвы от 21.12.2022 № 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».

**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 поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Н.Д. Кудрявцев — концепция публикации, написание текста, клинический анализ работы мобильного КТ; А.В. Петрайкин — клинический анализ качества работы мобильного КТ; Е.С. Ахмад — технический контроль качества эксплуатационных параметров, написание текста; Ф.А. Киселев, В.В. Бурашов — технический контроль качества эксплуатационных параметров мобильного КТ; А.Н. Мухортова — оценка эффективности применения мобильного КТ; И.В. Солдатов — проектирование отделения лучевой диагностики, редактирование текста; А.С. Шкода — организация работы отделения лучевой диагностики, редактирование текста.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Funding source.** This article was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled “Theoretical and methodological framework for digital transformation in radiology”, (USIS No. 123031400118-0) 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.

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

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. N.D. Kudryavtsev — the concept of publication, text writing, clinical analysis of mobile CT; A.V. Petraikin — clinical analysis of mobile CT; E.S. Akhmad — technical quality control of mobile CT, text writing; F.A. Kiselev, V.V. Burashov — technical quality control of mobile CT; A.N. Mukhortova — evaluation of the effectiveness of the use of mobile CT; I.V. Soldatov — design of the radiology department, text editing; A.S. Shkoda — organization of the work in the radiology department, text editing.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Morozov S.P., Kuzmina E.S., Ledikhova N.V., et al. Mobilizing the academic and practical potential of diagnostic radiology during the COVID-19 pandemic in Moscow // *Digital Diagnostics*. 2020. Vol. 1, N 1. P. 5–12. doi: 10.17816/DD51043
2. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (2019-nCoV): временные методические рекомендации. Версия 17 (14.12.2022). Режим доступа: [https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/061/254/original/%D0%92%D0%9C%D0%A0\\_COVID-19\\_V17.pdf?1671088207](https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/061/254/original/%D0%92%D0%9C%D0%A0_COVID-19_V17.pdf?1671088207). Дата обращения: 15.03.2023.
3. De Smet K., De Smet D., Ryckaert T., et al. Diagnostic performance of chest CT for SARS-CoV-2 infection in individuals with or without COVID-19 symptoms // *Radiology*. 2021. Vol. 298, N 1. P. E30–E37. doi: 10.1148/radiol.2020202708
4. Huang Y., Cheng W., Zhao N., et al. CT screening for early diagnosis of SARS-CoV-2 infection // *Lancet Infect Dis*. 2020. Vol. 20, N 9. P. 1010–1011. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30241-3
5. Barrett J.F., Keat N. Artifacts in CT: Recognition and avoidance // *RadioGraphics*. 2004. Vol. 24, N 6. P. 1679–1691. doi: 10.1148/rg.246045065
6. Самородская И.В., Ларина В.Н., Назимкин К.Е., Ларин В.Г. Организационные и клинические проблемы диагностики COVID-19

- на амбулаторном этапе // *Врач*. 2020. Т. 31, № 5. С. 23–30. doi: 10.29296/25877305-2020-05-05
7. Cester G., Giraudo C., Causin F., et al. Retrospective analysis of a modified organizational model to guarantee CT workflow during the COVID-19 outbreak in the Tertiary Hospital of Padova, Italy // *J Clin Med*. 2020. Vol. 9, N 9. P. 3042. doi: 10.3390/jcm9093042
8. Bates D.D., Vintonyak A., Mohabir R., et al. Use of a portable computed tomography scanner for chest imaging of COVID-19 patients in the urgent care at a tertiary cancer center // *Emerg Radiol*. 2020. Vol. 27, N 6. P. 597–600. doi: 10.1007/s10140-020-01801-5
9. Христенко Е.А., фон Стакельберг О., Кауцор Х.У., et al. КТ-паттерны при COVID-19-ассоциированных пневмониях: стандартизация описания исследований на основе глоссария общества Флейшнера // *Rejr*. 2020. Т. 10, № 1. С. 16–26. doi: 10.21569/2222-7415-2020-10-1-16-26
10. Kyriakou Y., Meyer E., Prell D., Kachelriess M. Empirical beam hardening correction (EBHC) for CT // *Med Phys*. 2010. Vol. 37, N 10. P. 5179–5187. doi: 10.1118/1.3477088
11. Aliev A.F., Kudryavtsev N.D., Petryaykin A.V., et al. Changing of pulmonary artery diameter in accordance with severity of COVID-19 (assessment based on non-contrast computer tomography) // *Digital Diagnostics*. 2021. Vol. 2, N 3. P. 249–260. doi: 10.17816/DD76726

## REFERENCES

1. Morozov SP, Kuzmina ES, Ledikhova NV, et al. Mobilizing the academic and practical potential of diagnostic radiology during the COVID-19 pandemic in Moscow. *Digital Diagnostics*. 2020;1(1):5–12. (In Russ). doi: 10.17816/DD51043
2. Prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (2019-nCoV): temporary guidelines. Version 17 (12/14/2022). (In Russ). Available from: [https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/061/254/original/%D0%92%D0%9C%D0%A0\\_COVID-19\\_V17.pdf?1671088207](https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/061/254/original/%D0%92%D0%9C%D0%A0_COVID-19_V17.pdf?1671088207). Accessed: 15.03.2023. (
3. De Smet K, De Smet D, Ryckaert T, et al. Diagnostic performance of chest CT for SARS-CoV-2 infection in individuals with or without COVID-19 symptoms. *Radiology*. 2021;298(1):E30–E37. doi: 10.1148/radiol.2020202708
4. Huang Y, Cheng W, Zhao N, et al. CT screening for early diagnosis of SARS-CoV-2 infection. *Lancet Inf Dis*. 2020;20(9):1010–1011. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30241-3
5. Barrett JF, Keat N. Artifacts in CT: Recognition and avoidance. *RadioGraphics*. 2004;24(6):1679–1691. doi: 10.1148/rg.246045065
6. Samorodskaja IV, Larina VN, Nazimkin KE, Larin VG. Organizational and clinical problems of outpatient COVID-19 diagnostics. *Vrach*. 2020;31(5):23–30. (In Russ). doi: 10.29296/25877305-2020-05-05

7. Cester G, Giraudo C, Causin F, et al. Retrospective analysis of a modified organizational model to guarantee CT workflow during the COVID-19 outbreak in the Tertiary Hospital of Padova, Italy. *J Clin Med*. 2020;9(9):3042. doi: 10.3390/jcm9093042
8. Bates DD, Vintonyak A, Mohabir R, et al. Use of a portable computed tomography scanner for chest imaging of COVID-19 patients in the urgent care at a tertiary cancer center. *Emerg Radiol*. 2020;27(6):597–600. doi: 10.1007/s10140-020-01801-5
9. Khristenko EA, von Stackelberg O, Kautsor HU, et al. CT patterns in COVID-19 associated pneumonia: Standardization of research descriptions based on the Fleischner Society Glossary. *Rejr*. 2020;10(1):16–26. (In Russ). doi: 10.21569/2222-7415-2020-10-1-16-26
10. Kyriakou Y, Meyer E, Prell D, Kachelriess M. Empirical beam hardening correction (EBHC) for CT. *Med Phys*. 2010;37(10):5179–5187. doi: 10.1118/1.3477088
11. Aliev AF, Kudryavtsev ND, Petryaykin AV, et al. Changing of pulmonary artery diameter in accordance with severity of COVID-19 (assessment based on non-contrast computer tomography). *Digital Diagnostics*. 2021;2(3):249–260. (In Russ). doi: 10.17816/DD76726

## ОБ АВТОРАХ

### \* Кудрявцев Никита Дмитриевич;

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;  
ORCID: 0000-0003-4203-0630;  
eLibrary SPIN: 1125-8637;  
e-mail: KudryavtsevND@zdrav.mos.ru

## AUTHORS' INFO

### \* Nikita D. Kudryavtsev;

address: 24/1 Petrovka street, 127051 Moscow, Russia;  
ORCID: 0000-0003-4203-0630;  
eLibrary SPIN: 1125-8637;  
e-mail: KudryavtsevND@zdrav.mos.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

**Петряйкин Алексей Владимирович**, д-р мед. наук, доцент;  
ORCID: 0000-0003-1694-4682;  
eLibrary SPIN: 6193-1656;  
e-mail: PetryajkinAV@zdrav.mos.ru

**Ахмад Екатерина Сергеевна**;  
ORCID: 0000-0002-8235-9361;  
eLibrary SPIN: 5891-4384;  
e-mail: AkhmadES@zdrav.mos.ru

**Киселев Федор Алексеевич**;  
ORCID: 0009-0006-6472-8940;  
e-mail: KiselevFA@zdrav.mos.ru

**Бурашов Вячеслав Владимирович**;  
ORCID: 0000-0001-9250-0667;  
eLibrary SPIN: 4308-0912;  
e-mail: BurashovVV@zdrav.mos.ru

**Мухортова Анна Николаевна**;  
ORCID: 0000-0001-9814-3533;  
eLibrary SPIN: 9051-1130;  
e-mail: MukhortovaAN@zdrav.mos.ru

**Солдатов Илья Владимирович**;  
ORCID: 0000-0002-4867-0746;  
eLibrary SPIN: 4065-6048;  
e-mail: SoldatovIV2@zdrav.mos.ru

**Шкода Андрей Сергеевич**, д-р мед. наук, профессор;  
ORCID: 0000-0002-9783-1796;  
eLibrary SPIN: 4520-2141;  
e-mail: gkb67@zdrav.mos.ru

**Alexey V. Petraikin**, MD, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor;  
ORCID: 0000-0003-1694-4682;  
eLibrary SPIN: 6193-1656;  
e-mail: PetryajkinAV@zdrav.mos.ru

**Ekaterina S. Akhmad**;  
ORCID: 0000-0002-8235-9361;  
eLibrary SPIN: 5891-4384;  
e-mail: AkhmadES@zdrav.mos.ru

**Fyodor A. Kiselev**;  
ORCID: 0009-0006-6472-8940;  
e-mail: KiselevFA@zdrav.mos.ru

**Vyacheslav V. Burashov**;  
ORCID: 0000-0001-9250-0667;  
eLibrary SPIN: 4308-0912;  
e-mail: BurashovVV@zdrav.mos.ru

**Anna N. Mukhortova**;  
ORCID: 0000-0001-9814-3533;  
eLibrary SPIN: 9051-1130;  
e-mail: MukhortovaAN@zdrav.mos.ru

**Ilya V. Soldatov**;  
ORCID: 0000-0002-4867-0746;  
eLibrary SPIN: 4065-6048;  
e-mail: SoldatovIV2@zdrav.mos.ru

**Andrey S. Shkoda**, MD, Dr. Sci. (Med), Professor;  
ORCID: 0000-0002-9783-1796;  
eLibrary SPIN: 4520-2141;  
e-mail: gkb67@zdrav.mos.ru