

Мобилизация научно-практического потенциала службы лучевой диагностики г. Москвы в пандемию COVID-19

Морозов С.П.¹, Кузьмина Е.С.¹, Ледихова Н.В.¹, Владимирский А.В.¹,
Трофименко И.А.¹, Мокиенко О.А.¹, Панина Е.В.¹, Андрейченко А.Е.¹,
Омелянская О.В.¹, Гомболевский В.А.¹, Полищук Н.С.¹, Шулькин И.М.¹,
Решетников Р.В.^{1,2}

¹ГБУЗ города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, Россия

²ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

Уже в начале первой волны пандемии COVID-19 для компьютерной томографической (КТ) диагностики поражения лёгких у пациентов с подозрением на вирусную пневмонию в Москве была сформирована сеть амбулаторных КТ-центров (АКТЦ) с круглосуточным режимом работы. Введение шкалы «КТ 0-4» позволило проводить эффективную маршрутизацию. Для предотвращения распространения инфекции среди пациентов и персонала было введено зонирование АКТЦ с разбиением на «красную», «буферную», и «зелёную» зоны. В рамках мобилизации службы лучевой диагностики создан Московский референс-центр, осуществляющий контроль качества, экспертные дистанционные консультации и организационно-методическое сопровождение. Разработано несколько дистанционных курсов и обучающих вебинаров. Для распознавания признаков COVID-19 и оценки степени тяжести были подключены сервисы искусственного интеллекта. Разработанная стратегия службы лучевой диагностики г. Москвы обеспечила готовность к высокой нагрузке на систему здравоохранения города и позволила минимизировать потери среди медицинского персонала. Специалисты службы внесли существенный вклад в эффективное сдерживание распространения инфекции за счёт доступной, своевременной и качественной диагностики и маршрутизации.

Ключевые слова: КТ, COVID-19, искусственный интеллект

Для цитирования: Морозов С.П., Кузьмина Е.С., Ледихова Н.В., Владимирский А.В., Трофименко И.А., Мокиенко О.А., Панина Е.В., Андрейченко А.Е., Омелянская О.В., Гомболевский В.А., Полищук Н.С., Шулькин И.М., Решетников Р.В. Мобилизация научно-практического потенциала службы лучевой диагностики г. Москвы в пандемию COVID-19 // *Digital Diagnostics*. 2020;1(1):00–00. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD51043>

Mobilizing the academic and practical potential of diagnostic radiology during the COVID-19 pandemic in Moscow

Morozov S.P.¹, Kuzmina E.S.¹, Ledikhova N.V.¹, Vladzimirskyy A.V.¹, Trofimenko I.A.¹,
Mokienko O.A.¹, Panina E.V.¹, Andreychenko A.E.¹, Omelyanskaya O.V.¹,
Gomboleviskiy V.A.¹, Polishhuk N.S.¹, Shulkin I.M.¹, Reshetnikov R.V.^{1,2}

Учреждения

¹Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia

²Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

At the beginning of the first wave of the COVID-19 pandemic, a network of outpatient CT centers (OCTC) for lung pathology diagnostics in patients with suspected viral pneumonia with the round-the-clock operation was formed in Moscow. The introduction of the "CT 0-4" scale allowed for effective routing. To prevent the spread of infection among patients and staff, OCTC zoning was

introduced, dividing into "red," "buffer," and "green" zones. As part of the mobilization of the Radiology Service, the Moscow Reference Center was established, aimed at quality control, remote expert consultations, and organizational and methodological support. Several online courses and training webinars have been developed. Artificial Intelligence services were connected to recognize the signs of COVID-19 and assess the severity.

The developed strategy of the Moscow Radiology Service ensured readiness for the high burden on the city health care system and minimized losses among medical personnel. The experts significantly contributed to effective infection control through accessible, timely, and high-quality diagnostics and routing.

Key words: CT, COVID-19, artificial intelligence

For citation: Morozov SP, Kuzmina ES, Ledikhova NV, Vladzimirskyy AV., Trofimenko I.A, Mokienko OA, Panina EV, Andreychenko AE, Omelyanskaya OV, Gombolevskiy VA, Polishhuk NS, Shulkin IM, Reshetnikov RV. Mobilizing the academic and practical potential of diagnostic radiology during the COVID-19 pandemic in Moscow. *Digital Diagnostics*. 2020;1(1):00–00. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD51043>

Москва — крупный оживлённый мегаполис с развитой сетью транспортных магистралей и аэропортов — всегда будет находиться в зоне повышенного риска при возникновении эпидемии инфекционного заболевания. Неудивительно, что 26% всех зарегистрированных в России случаев COVID-19 приходятся на долю столицы [1], что уверенно держит её в списке городов-мировых лидеров по числу инфицированных¹. Несмотря на это, опыт Москвы в чём-то уникален. Пиковая заболеваемость в первую волну эпидемии здесь пришлась на 7 мая 2020 г., когда было зарегистрировано 53 случая на 100 000 населения [1], в то время как жёсткие меры по самоизоляции были введены ещё 29 марта 2020 г.² Для сравнения, в крупных городах Испании, Германии, Италии и США период времени между датами введения режима карантина и пиковой заболеваемости составил 12 ± 3 дня³ [2–4]. Такое медленное распространение эпидемии во многом связано с разработкой и принятием своевременных мер организациями Департамента здравоохранения г. Москвы, ключевая роль в которых принадлежит первичному звену медицинской помощи.

Центральными задачами системы здравоохранения при пандемии являются ограничение распространения заболевания и снижение количества летальных исходов. По этой причине под наблюдением в стационарах должны находиться именно те пациенты, которым это необходимо, в то время как для инфицированных SARS-CoV-2 без признаков вирусной пневмонии оптимальными будут домашнее лечение и карантин. В противном случае ресурсы системы здравоохранения окажутся перегруженными, что неизбежно приведёт к падению качества оказываемых услуг и, как следствие, росту количества нежелательных результатов лечения.

«Золотым стандартом» скрининга на COVID-19 являются диагностические тесты, основанные на детекции вирусной РНК с помощью полимеразной цепной реакции с обратной транскрипцией (ОТ-ПЦР). Однако этому методу свойственны низкая чувствительность [5], длительное время выполнения, изменчивая вероятность

¹ Worldometer. Coronavirus update (live). Available at: <https://www.worldometers.info/coronavirus/>. Accessed: October 16, 2020.

² Сайт Сергея Собянина. Коронавирус. Ограничение передвижения по городу и социальная поддержка. Режим доступа: <https://www.sobyanin.ru/koronavirus-ogranichenie-peredvizheniya-i-sospodderzhka-grazhdan>. Дата обращения 20.11.2020.

³ Estado de alarma por crisis sanitaria COVID-19 – Atención e informacion – Punto de Acceso General. Available at: administracion.gob.es. Accessed: August 6, 2020.

ложноотрицательных результатов [6] и зависимость от наличия и качества реагентов. В частности, недостаток наборов для экстракции вирусной РНК стал существенной проблемой в лабораториях по всему миру⁴. Наконец, несмотря на то, что ОТ-ПЦР позволяет оценить степень тяжести заболевания по величине вирусной нагрузки [7], при диагнозе результат теста классифицируют исключительно как положительный либо отрицательный, что добавляет к списку недостатков метода дефицит клинической информации.

Одним из распространённых клинических проявлений COVID-19 является вирусная пневмония [8]. Компьютерная томография органов грудной клетки (КТ ОГК), не будучи классическим методом диагностики острой респираторной вирусной инфекции, обладает при этом высокой чувствительностью в отношении уплотнений лёгочной ткани — типичных симптомов COVID-19. В связи с этим служба лучевой диагностики г. Москвы разработала и успешно внедрила стратегию (рис. 1), ключевым понятием в которой стала концепция «клинически подтверждённого случая COVID-19».

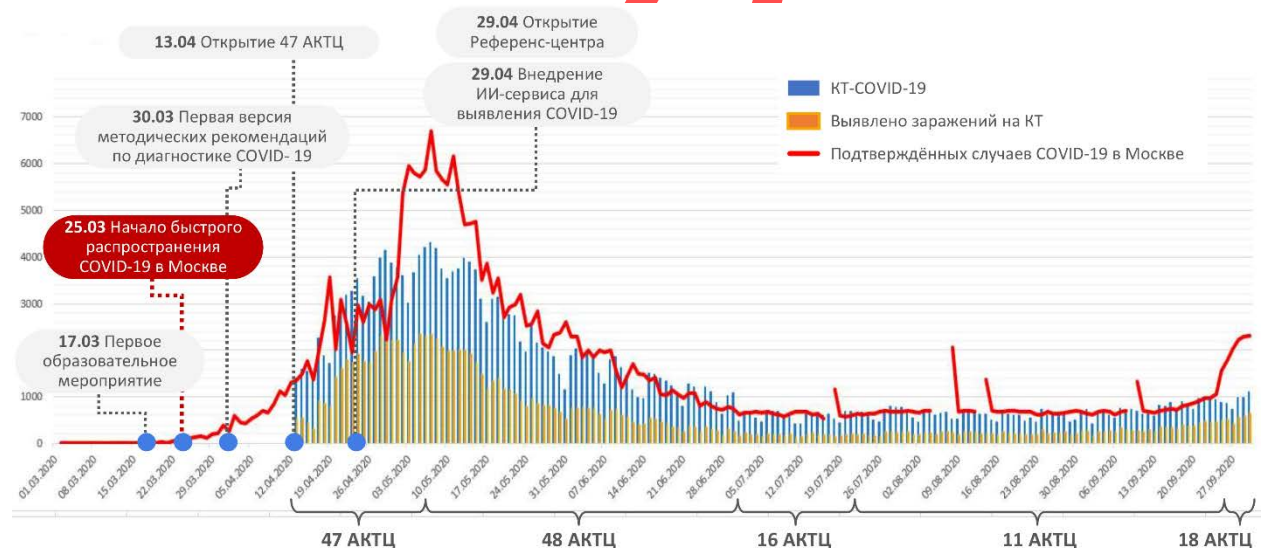


Рис. 1. Мобилизация службы лучевой диагностики в период развития эпидемии COVID-19 в Москве: АКТЦ — амбулаторные компьютерные томографические (КТ) центры, ИИ-сервис — сервис искусственного интеллекта.

В рамках этой концепции основанием для положительного диагноза является комбинация симптомов острой респираторной инфекции и характерных изменений в лёгких. Для оценки объёма уплотнённой лёгочной ткани специалисты службы разработали эмпирическую визуальную шкалу «КТ 0-4», разделённую на пять категорий [9]. Здесь категория КТ-0 присваивается пациентам без признаков пневмонии; последующие категории различаются ростом объёма уплотнений в наиболее поражённом лёгком с шагом 25%. Так КТ ОГК стала основным методом диагностики COVID-19 в Москве в условиях пандемии.

Введение шкалы «КТ 0-4» позволило проводить эффективную маршрутизацию: пациентам категорий КТ-0, КТ-1 и КТ-2 назначали наблюдение на дому с применением телемедицинских технологий, тогда как более тяжёлые больные подлежали немедленной госпитализации в стационар. Такая стратегия оптимизировала нагрузку на городские клинические больницы и полностью себя оправдала. Согласно нашим оценкам, менее 5%

⁴ RNA extraction kits for COVID-19 tests are in short supply in US. The Scientist Magazine. Available at: <https://www.the-scientist.com/news-opinion/rna-extraction-kits-for-covid-19-tests-are-in-short-supply-in-us-67250>. Accessed: October 14, 2020.

пациентов категорий КТ-0–КТ-2 в итоге была назначена госпитализация из-за ухудшения состояния [10].

В целях скрининга, маршрутизации и динамического контроля пациентов с COVID-19 была сформирована сеть амбулаторных КТ-центров (АКТЦ), открытых на базе городских поликлиник. Все 48 КТ-сканеров, расположенных в АКТЦ, были объединены в единое цифровое пространство с помощью Единого радиологического информационного сервиса Единой медицинской информационно-аналитической системы (ЕРИС ЕМИАС). Это решение позволило рентгенологам дистанционно проводить описание результатов исследований, тем самым существенно снизив риск заражения медицинских сотрудников, важность которых в условиях пандемии невозможно переоценить.

На время пандемии все программы скрининга под управлением Департамента здравоохранения г. Москвы были прекращены, и высвободившиеся рентгенолаборанты, а также хирургические сёстры были направлены в АКТЦ. Помимо этого, для предотвращения распространения инфекции среди пациентов и персонала было введено зонирование АКТЦ с разбиением на «красную», «буферную», и «зелёную» зоны. В «красной» зоне располагалось сканирующее оборудование, которое обрабатывали средствами дезинфекции после исследования каждого пациента. Весь медицинский персонал, работающий в этой зоне, был обеспечен средствами индивидуальной защиты третьего класса. «Буферная» зона служила для облачения работников в средства индивидуальной защиты и была разделена на три секции: для использованной одежды, дезинфекции и чистой одежды. Наконец, в «зелёной» зоне находились кабинеты врачей, ординаторские и операционные комнаты.

В рамках реализации стратегии был создан Московский референс-центр лучевой диагностики, основным назначением которого стали контроль качества описания результатов исследований, экспертные дистанционные консультации и организационно-методическое сопровождение персонала АКТЦ.

Социальные сети и службы обмена сообщениями стали дополнительным средством коммуникации, среди которых выделяется Telegram-канал «Клуб рентгенологов и радиологов MRO.LIVE» с 3228 подписчиками — рентгенологами, специалистами по ультразвуковой диагностике, техниками и администраторами отдела технического контроля. Канал стал важным инструментом для общения и консультаций в режиме реального времени, а также обмена информацией о текущем состоянии и прогрессе пандемии COVID-19, нормативных документах и образовательных мероприятиях.

Приток новых сотрудников и быстрое накопление научно обоснованных знаний о диагностике COVID-19 потребовали организации программ обучения медицинского персонала. Мы разработали несколько краткосрочных дистанционных курсов и интерактивных обучающих вебинаров для различных целевых аудиторий — администраторов АКТЦ, рентгенологов, рентгенолаборантов и ассистентов. С февраля по октябрь 2020 г. наши курсы и вебинары посетили более 50 000 специалистов. Около 10 500 рентгенологов других модальностей прошли обучение по КТ ОГК.

Для распознавания признаков COVID-19 к 149 диагностическим устройствам 85 медицинских организаций Москвы был подключен сервис искусственного интеллекта. С 29 апреля по 19 октября сервис обработал более 350 000 КТ-исследований на наличие признаков COVID-19. Точность и чувствительность системы искусственного интеллекта составили 0,91, специфичность 0,92, удельный вес ложноотрицательных результатов 7,4%, удельный вес ложноположительных результатов 1,6%. Внедрение технологий искусственного интеллекта в АКТЦ позволило автоматически предоставлять информацию для приоритизации исследований в рабочем списке врача-рентгенолога.

Этот эксперимент продемонстрировал функциональность автоматического анализа медицинских изображений с указанием локализации выявленных алгоритмом патологических находок и уведомлением о результатах, а также практическую пользу автоматической подготовки проекта описания исследования. Кроме того, сотрудниками ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ создан и выложен в открытый доступ крупнейший в мире эталонный дата-сет (набор данных) для COVID-19⁵.

По данным от 19 октября 2020 г., специалисты АКЦ провели 268 567 КТ-исследований. Рекорд загрузки одного КТ-аппарата составил 204 КТ-исследования в сутки. Признаки пневмонии были обнаружены у 130 138 пациентов, 126 761 из которых был поставлен диагноз «Клинически подтверждённый случай COVID-19». Таким образом, за указанный период 34,5% всех диагнозов COVID-19 в Москве были поставлены с использованием средств лучевой диагностики.

Несмотря на непрерывную работу АКЦ, принятые меры по инфекционному контролю предотвратили массовое заражение медицинского персонала. Всего в 48 амбулаторных центрах г. Москвы работали 485 рентгенологов и 775 рентгенолаборантов. Среднее количество инфицированных рентгенологов составило 10 ± 4 (2,1%); для рентгенолаборантов это значение было лишь немногим больше — 22 ± 12 (2,8%).

Разработанная стратегия службы лучевой диагностики г. Москвы (см. рис. 1) обеспечила готовность к высокой нагрузке на систему здравоохранения города и позволила минимизировать потери среди медицинского персонала. Специалисты службы внесли существенный вклад в эффективное сдерживание распространения инфекции за счёт доступной, своевременной и качественной диагностики и маршрутизации. Оперативная мобилизация первичного звена с доступной лучевой диагностикой позволила эффективно детектировать проявления болезни, получать быстрое подтверждение диагноза и, в конечном итоге, выйти на плато заболеваемости.

В настоящее время мир переживает вторую волну пандемии, к которой Департамент здравоохранения г. Москвы подошёл во всеоружии. С учётом многократно выросшего объёма лабораторных тестов уже нет потребности в широком развертывании лучевой диагностики. Тем не менее наши разработки и накопленный опыт востребованы в других субъектах Российской Федерации и за рубежом, и мы охотно делимся ими посредством обучающих программ, вебинаров и научных публикаций.

Источник финансирования. Исследование и публикации статьи осуществлены на личные средства авторского коллектива.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

Участие авторов. Все авторы внесли существенный вклад в проведение подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию до публикации.

Funding. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

The participation of the authors. All authors made a significant contribution to the the article preparation, read and approved the final version before publication.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 16.10.2020 №31 «О дополнительных мерах по снижению рисков распространения COVID-19 в период сезонного подъёма заболеваемости острыми респираторными вирусными инфекциями и гриппом». Режим доступа: <https://www.rosпотреbnadzor.ru/>. Дата обращения 20.11.2020.

⁵ Dataset MosMedData: COVID-19_1110. Available at: https://mosmed.ai/datasets/covid19_1110. Accessed: October 16, 2020.

2. Badr H.S., Du H., Marshall M., et al. Association between mobility patterns and COVID-19 transmission in the USA: A mathematical modelling study // *Lancet Infect Dis*. 2020. Vol. 20, N 11. P. 1247–1254. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30553-3
3. Karagiannidis C., Mostert C., Hentschker C., et al. Case characteristics, resource use, and outcomes of 10 021 patients with COVID-19 admitted to 920 German hospitals: an observational study // *Lancet Respir Med*. 2020. Vol. 8, N 9. P. 853–862. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30316-7
4. Vinceti M., Filippini T., Rothman K.J., et al. Lockdown timing and efficacy in controlling COVID-19 using mobile phone tracking // *EClinicalMedicine*. 2020. Vol. 25. P. 100457. doi: 10.1016/j.eclinm.2020.100457
5. Ai T., Yang Z., Hou H., et al. Correlation of chest CT and RT-PCR testing for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in China: A report of 1014 cases // *Radiology*. 2020. Vol. 296, N 2. E32–E40. doi: 10.1148/radiol.2020200642
6. Kucirka L.M., Lauer S.A., Laeyendecker O., et al. Variation in false-negative rate of reverse transcriptase polymerase chain reaction-based SARS-CoV-2 tests by time since exposure // *Ann Intern Med*. 2020. Vol. 173, N 4. P. 262–267. doi: 10.7326/M20-1495
7. Pujadas E., Chaudhry F., McBride R., et al. SARS-CoV-2 viral load predicts COVID-19 mortality // *Lancet Respir Med*. 2020. Vol. 8, N 9. e70. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30354-4
8. Siordia J.A. Epidemiology and clinical features of COVID-19: A review of current literature // *J Clin Virol*. 2020. Vol. 127. P. 104357. doi: 10.1016/j.jcv.2020.104357
9. Morozov S.P., Gombolevskiy V.A., Chernina V.Y., et al. Prediction of lethal outcomes in COVID-19 cases based on the results chest computed tomography // *Tuberc Lung Dis*. 2020. Vol. 98, N 6. P. 7–14. doi: 10.21292/2075-1230-2020-98-6-7-14
10. Morozov S., Ledikhova N., Panina E., et al. Re: Controversy in coronaViral Imaging and Diagnostics (COVID) // *Clin Radiol*. 2020. Vol. 75, Issue 11. P. 871–872. doi: 10.1016/j.crad.2020.07.023

REFERENCES

1. Resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation No. 31 of 16.10.2020 «O dopolnitel'nykh merakh po snizheniyu riskov rasprostraneniya SOVID-19 v period sezonnogo pod'ema zabolevaemosti ostrymi respiratornymi virusnymi infektsiyami i grippom». Available from: <https://www.rospotrebnadzor.ru/>. (In Russ).
2. Badr HS, Du H, Marshall M, et al. Association between mobility patterns and COVID-19 transmission in the USA: A mathematical modelling study. *Lancet Infect Dis*. 2020;20(11):1247–1254. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30553-3
3. Karagiannidis C, Mostert C, Hentschker C, et al. Case characteristics, resource use, and outcomes of 10 021 patients with COVID-19 admitted to 920 German hospitals: an observational study. *Lancet Respir Med*. 2020;8(9):853–862. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30316-7
4. Vinceti M, Filippini T, Rothman KJ, et al. Lockdown timing and efficacy in controlling COVID-19 using mobile phone tracking. *EClinicalMedicine*. 2020;25:100457. doi: 10.1016/j.eclinm.2020.100457
5. Ai T, Yang Z, Hou H, et al. Correlation of chest CT and RT-PCR testing for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in China: A report of 1014 cases. *Radiology*. 2020;296(2):E32–E40. doi: 10.1148/radiol.2020200642
6. Kucirka LM, Lauer SA, Laeyendecker O, et al. Variation in false-negative rate of reverse transcriptase polymerase chain reaction-based SARS-CoV-2 tests by time since exposure. *Ann Intern Med*. 2020;173(4):262–267. doi: 10.7326/M20-1495

7. Pujadas E, Chaudhry F, McBride R, et al. SARS-CoV-2 viral load predicts COVID-19 mortality. *Lancet Respir Med*. 2020;8(9):e70. doi: 10.1016/S2213-2600(20)30354-4
8. Siordia JA. Epidemiology and clinical features of COVID-19: A review of current literature. *J Clin Virol*. 2020;127:104357. doi: 10.1016/j.jcv.2020.104357
9. Morozov SP, Gombolevskiy VA, Chernina VY, et al. Prediction of lethal outcomes in COVID-19 cases based on the results chest computed tomography. *Tuberc Lung Dis*. 2020;98(6):7–14. doi: 10.21292/2075-1230-2020-98-6-7-14
10. Morozov S, Ledikhova N, Panina E, et al. Re: Controversy in coronaViral Imaging and Diagnostics (COVID). *Clin Radiol*. 2020;75(11):871–872. doi: 10.1016/j.crad.2020.07.023

Article in Press